



universität  
wien

# DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

**Die Beurteilung der Qualität von grünen Erbsen  
anhand der chemischen Zusammensetzung und  
sensorischen Charakterisierung**

angestrebter akademischer Grad

**Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer.nat.)**

Verfasserin:	Sandra Kölbl
Matrikel-Nummer:	0107120
Studienrichtung/Studienzweig (lt. Studienblatt):	Ernährungswissenschaften (A 474)
Betreuerin:	Ao. Univ.-Prof. Dr. Dorota Majchrzak

Wien, im August 2010



# Danksagung

Zuerst möchte ich mich ganz besonders bei Frau Ao. Univ. Prof. Dr. Dorota Majchrzak für die Bereitstellung des interessanten Themas, sowie für die fachliche Beratung und herzliche Betreuung während der Durchführung dieser Arbeit bedanken.

Weiters gilt mein Dank Herrn o. Univ. Prof. Dr. Ibrahim Elmadfa für die Möglichkeit meine Diplomarbeit im Labor des Instituts für Ernährungswissenschaften der Universität Wien durchzuführen.

Außerdem möchte ich mich bei allen MitarbeiterInnen des IfEW für die freundliche Hilfsbereitschaft und fachliche Unterstützung in labortechnischen Belangen bedanken, allen voran Mag. Agnes Hertel und Gheorghe Mare.

Danke an alle PanellistInnen, die durch ihre Teilnahme die sensorischen Prüfungen ermöglicht haben.

Auch bei meinen StudienkollegInnen Andrea, Marlene, Eva und Birgit, mit denen ich gemeinsam viel Zeit im Labor verbracht habe, möchte ich mich für die unterhaltsamen Gespräche, die vielen positiven Worte und die freundschaftliche Unterstützung bedanken.

Besonderer Dank gilt meinem Freund Gabriel, der mir zum Schreiben dieser Arbeit die notwendige Zeit und Ruhe gegeben, mich stets liebevoll motiviert und unterstützt und immer an mich geglaubt hat. Weiters bin ich ihm sehr dankbar, dass er mich zur Formatierung in Latex bestärkt hat und mir bei dieser zeitintensiven Arbeit unentwegt zur Seite stand.

Ein großes Dankeschön gilt auch meiner Schwester Astrid für ihr Verständnis und ihre Unterstützung während der aufwendigen Diplomarbeitszeit.

**Mein größter Dank gilt meinen Eltern, die mir nicht nur das Studium ermöglicht haben, sondern immer für mich da waren und mich unterstützt haben.**



# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>iii</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>ix</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>xi</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Einleitung und Fragestellung</b>	<b>1</b>
<b>2 Literaturüberblick</b>	<b>3</b>
2.1 Qualität . . . . .	3
2.1.1 Definition des Begriffes Qualität . . . . .	3
2.1.2 Der Qualitätsbegriff . . . . .	3
2.1.3 Qualität von Lebensmitteln . . . . .	4
2.1.4 Minderung der Qualität von Lebensmitteln . . . . .	5
2.1.4.1 Vorerntefaktoren . . . . .	6
2.1.4.2 Erntefaktoren . . . . .	6
2.1.4.3 Nacherntefaktoren . . . . .	6
2.2 Grüne Erbsen . . . . .	8
2.2.1 Systematik . . . . .	8
2.2.2 Herkunft und Anbau . . . . .	8
2.2.3 Beschreibung . . . . .	9
2.2.4 Verwendung . . . . .	11
2.3 Inhaltsstoffe von grünen, unreifen, rohen Erbsen . . . . .	12
2.3.1 Chemische Zusammensetzung . . . . .	12
2.3.2 Vitamine . . . . .	13
2.3.3 Mineralstoffe . . . . .	14
2.3.4 Essentielle Aminosäuren . . . . .	15
2.3.5 Antinutritive Inhaltsstoffe . . . . .	16
2.4 Vitamin C . . . . .	17
2.4.1 Allgemein . . . . .	17
2.4.2 Chemie . . . . .	18
2.4.3 Vorkommen . . . . .	20

2.4.4	Bioverfügbarkeit . . . . .	21
2.4.5	Metabolismus . . . . .	22
2.4.6	Physiologische Funktionen . . . . .	24
2.4.6.1	Antioxidative Wirkung . . . . .	24
2.4.6.2	Funktion als Cofaktor von Enzymen, Hydroxylierungsreaktionen . . . . .	24
2.4.6.3	Vitamin C und Eisen . . . . .	26
2.4.6.4	Vitamin C und das Immunsystem . . . . .	26
2.4.6.5	Bedarf und Empfehlung . . . . .	27
2.4.6.6	Mangel . . . . .	28
2.4.6.7	Hypervitaminose . . . . .	29
2.5	Carotinoide . . . . .	29
2.5.1	Allgemein . . . . .	29
2.5.2	Chemie . . . . .	30
2.5.2.1	Carotine . . . . .	31
2.5.2.2	Xanthophylle . . . . .	33
2.5.3	Vorkommen . . . . .	35
2.5.4	Bioverfügbarkeit . . . . .	35
2.5.5	Metabolismus . . . . .	38
2.5.6	Physiologische Funktionen . . . . .	40
2.5.6.1	Provitamin A Wirkung . . . . .	40
2.5.6.2	Antioxidative Wirkung . . . . .	40
2.5.6.3	Carotinoide und Krebs . . . . .	41
2.5.6.4	Wirkung auf die Haut . . . . .	42
2.5.6.5	Wirkung am Auge . . . . .	42
2.5.7	Bedarf und Empfehlung . . . . .	43
2.5.8	Mangel . . . . .	43
2.5.9	Hypervitaminose . . . . .	43
2.6	Antioxidative Kapazität . . . . .	44
2.6.1	Methoden zur Messung der antioxidativen Kapazität . . . . .	46
2.6.2	Antioxidative Kapazität von Gemüse . . . . .	47
2.7	Erbsenprodukte . . . . .	48
2.7.1	Vorerntefaktoren . . . . .	48
2.7.2	Erntefaktoren . . . . .	49
2.7.3	Nacherntefaktoren . . . . .	49
2.8	Tiefgefrieren — Tiefgefrorene (TK) Erbsen . . . . .	52
2.8.1	Definition . . . . .	52
2.8.2	Wirkungsmechanismen . . . . .	52
2.8.3	Technologie der Produktion von TK-Erbsen . . . . .	52
2.8.4	Auswirkungen des Tiefgefrierens auf die Lebensmittelqualität . . . . .	53
2.8.4.1	Einfluss der Gefrier- und Lagertemperatur . . . . .	53
2.8.4.2	Einfluss der Verpackung . . . . .	53
2.8.4.3	Auswirkungen des Tiefgefrierens . . . . .	53
2.9	Hitzesterilisation — Sterilkonserven . . . . .	54

2.9.1	Definition . . . . .	54
2.9.2	Wirkungsmechanismen . . . . .	54
2.9.3	Technologie der Produktion von Sterilkonserven . . . . .	55
2.9.3.1	Verpackungsmaterial . . . . .	55
2.9.3.2	Aufgussflüssigkeit . . . . .	56
2.9.3.3	Verschlussprozess . . . . .	56
2.9.3.4	Hitzesterilisation . . . . .	56
2.9.4	Auswirkungen der Hitzesterilisierung auf die Lebensmittelqualität	57
2.9.4.1	Einfluss der Temperatur . . . . .	57
2.9.4.2	Einfluss der Verpackung . . . . .	57
2.9.4.3	Einfluss der Lagerung . . . . .	58
<b>3</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>59</b>
3.1	Material . . . . .	59
3.1.1	Probenumfang . . . . .	59
3.1.2	Untersuchungsparameter . . . . .	59
3.1.3	Geräte und Labormaterial . . . . .	61
3.1.4	Allgemeine Probenaufbereitung . . . . .	62
3.1.5	Untersuchungsmethode HPLC . . . . .	62
3.2	Vitamin C . . . . .	62
3.2.1	Herstellung der verwendeten Lösungen und Laufmittel . . . . .	63
3.2.2	Probenaufbereitung . . . . .	64
3.2.3	RP (Reversed Phase)–HPLC . . . . .	65
3.2.4	Auswertung . . . . .	65
3.3	Carotinoide . . . . .	68
3.3.1	Herstellung der verwendeten Lösungen und Laufmittel . . . . .	69
3.3.2	Probenaufbereitung . . . . .	69
3.3.3	RP–HPLC . . . . .	70
3.3.4	Auswertung . . . . .	71
3.4	Totale Antioxidative Kapazität (TAC) . . . . .	75
3.4.1	Herstellung der verwendeten Lösungen und Laufmittel . . . . .	75
3.4.2	Probenaufbereitung . . . . .	76
3.4.3	Prinzip der Methode . . . . .	77
3.4.4	Auswertung . . . . .	78
3.5	Trockensubstanz . . . . .	79
3.5.1	Durchführung . . . . .	79
3.5.2	Berechnung der Trockensubstanz . . . . .	79
3.6	Sensorische Analyse . . . . .	79
3.6.1	Quantitative Deskriptive Analyse (QDA) . . . . .	80
3.6.2	Probenvorbereitung . . . . .	82
3.6.3	Durchführung . . . . .	83
3.6.4	Auswertung . . . . .	84
3.7	Statistische Auswertung . . . . .	84

<b>4</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>85</b>
4.1	Vitamin C . . . . .	85
4.1.1	In Frischen Erbsen . . . . .	85
4.1.2	In Frischen Zuckerschoten–Erbsen . . . . .	86
4.1.3	In Tiefkühlerbsen . . . . .	86
4.1.4	In Dosenerbsen . . . . .	87
4.1.5	In Glaserbsen . . . . .	88
4.1.6	Vitamin C Gehalte der Erbsenprodukte im Vergleich . . . . .	89
4.1.7	Diskussion der Vitamin C Ergebnisse . . . . .	92
4.2	Carotinoide . . . . .	98
4.2.1	Gesamt–Carotinoide . . . . .	98
4.2.2	Einzelne Carotinoide . . . . .	98
4.2.2.1	In Frischen Erbsen . . . . .	98
4.2.2.2	In Frischen Zuckerschoten–Erbsen . . . . .	99
4.2.2.3	In Tiefkühlerbsen . . . . .	99
4.2.2.4	In Dosenerbsen . . . . .	100
4.2.2.5	In Glaserbsen . . . . .	101
4.2.3	Carotinoid–Gehalte der Erbsenprodukte im Vergleich . . . . .	103
4.2.4	Diskussion der Carotinoid–Ergebnisse . . . . .	104
4.3	Totale antioxidative Kapazität . . . . .	110
4.3.1	In Frischen Erbsen . . . . .	110
4.3.2	In Frischen Zuckerschoten–Erbsen . . . . .	110
4.3.3	In Tiefkühlerbsen . . . . .	111
4.3.4	In Dosenerbsen . . . . .	111
4.3.5	In Glaserbsen . . . . .	112
4.3.6	TAC–Gehalte der Erbsenprodukte im Vergleich . . . . .	113
4.3.6.1	Wasserlösliche Phase . . . . .	113
4.3.6.2	Wasserunlösliche Phase . . . . .	114
4.3.7	Diskussion der TAC–Ergebnisse . . . . .	116
4.4	Trockensubstanz . . . . .	122
4.4.1	In Frischen Erbsen . . . . .	122
4.4.2	In Frischen Zuckerschotenerbsen . . . . .	122
4.4.3	In Tiefkühlerbsen . . . . .	122
4.4.4	In Dosenerbsen . . . . .	122
4.4.5	In Glaserbsen . . . . .	123
4.4.6	Vitamin C Gehalt bezogen auf die Trockensubstanz (TS) . . . . .	124
4.4.6.1	In Frischen Erbsen . . . . .	124
4.4.6.2	In Frischen Zuckerschotenerbsen . . . . .	124
4.4.6.3	In Tiefkühlerbsen . . . . .	124
4.4.6.4	In Dosenerbsen . . . . .	124
4.4.6.5	In Glaserbsen . . . . .	124
4.4.7	Carotinoid Gehalt bezogen auf die Trockensubstanz . . . . .	126
4.4.7.1	In Frischen Erbsen . . . . .	126
4.4.7.2	In Frischen Zuckerschoten–Erbsen . . . . .	126



4.4.7.3	In Tiefkühlerbsen . . . . .	126
4.4.7.4	In Dosenerbsen . . . . .	127
4.4.7.5	In Glaserbsen . . . . .	127
4.5	Sensorische Analyse . . . . .	130
4.5.1	Quantitative Deskriptive Analyse: Frische Erbsen, Frische Zuckerschoten– Erbsen und Tiefkühlerbsen im Vergleich . . . . .	130
4.5.1.1	Optik/Aussehen . . . . .	130
4.5.1.2	Geruch . . . . .	131
4.5.1.3	Geschmack/Flavour . . . . .	131
4.5.1.4	Textur/Mundgefühl . . . . .	132
4.5.2	Quantitative Deskriptive Analyse: Dosen– und Glaserbsen im Ver– gleich . . . . .	134
4.5.2.1	Optik/Aussehen . . . . .	134
4.5.2.2	Geruch . . . . .	134
4.5.2.3	Geschmack/Flavour . . . . .	135
4.5.2.4	Textur/Mundgefühl . . . . .	135
4.5.3	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse der sensorischen Analyse . . . . .	138
4.5.3.1	Optik/Aussehen . . . . .	138
4.5.3.2	Geruch . . . . .	140
4.5.3.3	Geschmack/Flavour . . . . .	141
4.5.3.4	Textur/Mundgefühl . . . . .	142
<b>5</b>	<b>Schlussbetrachtung</b>	<b>145</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>153</b>
<b>7</b>	<b>Summary</b>	<b>155</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>157</b>
	<b>Anhang</b>	<b>171</b>
	<b>Lebenslauf</b>	<b>175</b>



# Abbildungsverzeichnis

2.1	Geographische Verbreitung der grünen Erbse . . . . .	9
2.2	Chemische Zusammensetzung von grünen Erbsen . . . . .	12
2.3	Gehalt an Vitamin E und C in grünen Erbsen . . . . .	13
2.4	Gehalt an Pantothensäure, Thiamin, Riboflavin, Pyridoxin, Folsäure und Vitamin K in grünen Erbsen . . . . .	14
2.5	Gehalte an ausgewählten Mineralstoffen in grünen Erbsen (I) . . . . .	15
2.6	Gehalte an ausgewählten Mineralstoffen in grünen Erbsen (II) . . . . .	15
2.7	Gehalte an essentiellen Aminosäuren in grünen Erbsen . . . . .	16
2.8	Strukturformeln. Links: L-Ascorbinsäure. Rechts: L-Dehydroascorbinsäure. .	17
2.9	Strukturformeln. L-Ascorbinsäure und ihre stereoisomeren Formen . . . . .	18
2.10	Strukturformel von $\beta$ -Carotin . . . . .	32
2.11	Strukturformel von $\alpha$ -Carotin . . . . .	32
2.12	Strukturformel von Lycopin . . . . .	33
2.13	Strukturformel von Lutein . . . . .	33
2.14	Strukturformel von Zeaxanthin . . . . .	34
2.15	Strukturformel von $\beta$ -Cryptoxanthin . . . . .	34
3.1	L-Ascorbinsäure (L-AA) Standard . . . . .	66
3.2	Gesamt-Ascorbinsäure (T-AA) einer Dosenerbsen-Probe . . . . .	66
3.3	L-Ascorbinsäure Eichgerade . . . . .	67
3.4	Beispielchromatogramm der untersuchten Carotinoide in Glaserbsen . . . . .	70
3.5	Lutein Eichgerade . . . . .	72
3.6	Zeaxanthin Eichgerade . . . . .	73
3.7	Cryptoxanthin Eichgerade . . . . .	73
3.8	$\alpha$ -Carotin Eichgerade . . . . .	74
3.9	$\beta$ -Carotin Eichgerade . . . . .	74
3.10	TAC Standardgerade . . . . .	78
3.11	Beispiele für verwendete Skalen . . . . .	82
4.1	Vitamin C Konzentrationen (TAA,L-AA,DHAA) in Frischen Erbsen . . . . .	85
4.2	Prozentuelle Anteile der L-AA und DHAA in Frischen Erbsen . . . . .	85
4.3	Vitamin C Konzentrationen (TAA,L-AA,DHAA) in Frischen ZS-Erbsen . . . . .	86
4.4	Prozentuelle Anteile der L-AA und DHAA in Frischen ZS-Erbsen . . . . .	86
4.5	Vitamin C Konzentration in Tiefkühlerbsen . . . . .	87

4.6	Prozentuelle Anteile der L-AA und DHAA in Tiefkühlerbsen . . . . .	87
4.7	Vitamin C Konzentration in Dosenerbsen . . . . .	88
4.8	Prozentuelle Anteile der L-AA und DHAA in Dosenerbsen . . . . .	88
4.9	Vitamin C Konzentration in Glaserbsen . . . . .	89
4.10	Prozentuelle Anteile der L-AA und DHAA in Glaserbsen . . . . .	89
4.11	L-AA/DHAA-Verhältnisse der Erbsenprodukte . . . . .	94
4.12	Gesamt-Carotinoidgehalte der untersuchten Erbsenprodukte . . . . .	98
4.13	Carotinoid-Gehalte in Frischen Erbsen . . . . .	99
4.14	Carotinoid-Gehalte in Zuckerschoten-Erbsen . . . . .	100
4.15	Carotinoid-Gehalte in Tiefkühlerbsen . . . . .	100
4.16	Carotinoid-Gehalte in Dosenerbsen . . . . .	101
4.17	Carotinoid-Gehalte in Glas-Erbsen . . . . .	101
4.18	TAC-Werte in Frischen Erbsen . . . . .	110
4.19	TAC-Werte der Zuckerschoten-Erbsen . . . . .	111
4.20	TAC-Werte in Tiefkühlerbsen . . . . .	111
4.21	TAC-Werte in Dosenerbsen . . . . .	112
4.22	TAC-Werte in Glaserbsen . . . . .	112
4.23	Gesamt-TAC-Werte der untersuchten Erbsenprodukte im Vergleich . . . . .	119
4.24	Trockenmasse der untersuchten Erbsenprodukte im Vergleich . . . . .	122
4.25	Vitamin C Gehalt bezogen auf TS der untersuchten Erbsen im Vergleich . . .	125
4.26	Aussehens-Attribute von Frischen Erbsen, ZS- und TK-Erbsen im Vergleich	130
4.27	Geruchs-Attribute von Frischen Erbsen, ZS- und TK-Erbsen im Vergleich .	131
4.28	Flavour- und Geschmacksattribute von Frischen Erbsen, ZS- und TK-Erbsen im Vergleich . . . . .	132
4.29	Textur-Attribute von Frischen Erbsen, ZS- und TK-Erbsen im Vergleich . .	133
4.30	Produktprofil der Frischen Erbsen, der ZS-Erbsen und der TK-Erbsen . . .	133
4.31	Aussehens-Attribute von Dosen- und Glaserbsen im Vergleich . . . . .	134
4.32	Geruchs-Attribute von Dosen- und Glaserbsen im Vergleich . . . . .	135
4.33	Flavour- und Geschmacksattribute von Dosen- und Glaserbsen im Vergleich	135
4.34	Textur-Attribute von Dosen- und Glaserbsen im Vergleich . . . . .	136
4.35	Produktprofil der Dosenerbsen und Glaserbsen . . . . .	136
4.36	Aussehens-Attribute der fünf untersuchten Erbsenprodukte im Vergleich . .	140
4.37	Geruchs-Attribute der fünf untersuchten Erbsenprodukte im Vergleich . . .	140
4.38	Flavour- und Geschmacksattribute der fünf untersuchten Erbsenprodukte im Vergleich . . . . .	142
4.39	Textur-Attribute der fünf untersuchten Erbsenprodukte im Vergleich . . . .	143
4.40	Produktprofil der fünf untersuchten Erbsenprodukte . . . . .	144

# Tabellenverzeichnis

2.1	Die Rolle von LAA und DHAA in Säugetierzellen . . . . .	19
2.2	Ascorbinsäure-Gehalte ausgewählter Lebensmittel . . . . .	20
2.3	Transportmechanismen für Vitamin C . . . . .	22
2.4	Intrazelluläre Funktion der Ascorbinsäure als Cofaktor von Enzymen . . . . .	25
2.5	Empfohlene Vitamin C Zufuhr . . . . .	28
2.6	Carotinoidgehalte ausgewählter Gemüse . . . . .	36
2.7	Carotinoidgehalte ausgewählter Früchte . . . . .	36
2.8	Einflussfaktoren auf die Bioverfügbarkeit von Carotinoiden . . . . .	36
2.9	Enzymatische und Nicht-Enzymatische Schutzfaktoren . . . . .	45
2.10	Sekundäre Pflanzenstoffe . . . . .	46
2.11	Methoden zur Messung der antioxidativen Kapazität . . . . .	46
2.12	Übersicht über die Sortierungen bei grünen Erbsen . . . . .	50
3.1	Produktzuweisung . . . . .	60
3.2	HPLC-System für die Vitamin C-Bestimmung . . . . .	66
3.3	HPLC-System für die Carotinoidbestimmung . . . . .	71
3.4	Trolox-Standardlösungen . . . . .	77
3.5	Ablauf der TAC-Messung . . . . .	78
3.6	Attributenliste für grüne Erbsen . . . . .	80
4.1	Vitamin C Gehalt der untersuchten Erbsen . . . . .	90
4.2	Signifikante Unterschiede der Vitamin C-Konzentrationen . . . . .	91
4.3	Vergleich der erhaltenen Vitamin C Konzentrationen mit den Literaturdaten . . . . .	92
4.4	Carotinoid-Gehalte der untersuchten Erbsen . . . . .	102
4.5	Signifikante Unterschiede der Carotinoid-Konzentrationen . . . . .	104
4.6	Vergleich der erhaltenen Carotinoidgehalte mit den Literaturdaten . . . . .	105
4.7	TAC-Werte der untersuchten Erbsen . . . . .	113
4.8	Signifikante Unterschiede der TAC-Konzentrationen in der wasserlöslichen und wasserunlöslichen Phase . . . . .	115
4.9	Vergleich der erhaltenen TAC-Werte mit den Literaturdaten . . . . .	117
4.10	Trockensubstanz- und Wassergehalt der untersuchten Erbsen . . . . .	123
4.11	Vitamin C Gehalt bezogen auf die TS der untersuchten Erbsen . . . . .	125
4.12	Carotinoid Gehalt (Gesamt und an einzelnen Carotinoiden) bezogen auf die TS der untersuchten Erbsen . . . . .	128

4.13	Gehalt an einzelnen Carotinoiden bezogen auf die TS der untersuchten Erbsen	129
4.14	Signifikante Unterschiede der Intensität der Sensorischen Attribute . . . . .	137
1	Vitamin C Gehalt der untersuchten Erbsen . . . . .	171
2	Carotinoid Gehalt der untersuchten Erbsen . . . . .	172
3	Totale antioxidative Kapazität der untersuchten Erbsen . . . . .	173
4	Trockensubstanz- und Wassergehalt der untersuchten Erbsen . . . . .	174

# Abkürzungsverzeichnis

<b>Abb.</b>	Abbildung
<b>ABTS</b>	2,2'-Azinobis-[3-ethylbenzthiazolizolin-6-sulfonsäure]
<b>AIS</b>	Alcohol Insoluble Substances
<b>allg.</b>	allgemein
<b>AMD</b>	Age-related Macular Degeneration
<b>AS</b>	Aminosäure
<b>aw-Wert</b>	Activity of Water (Wasseraktivität)
<b>bzw.</b>	beziehungsweise
<b>CRH</b>	Corticotropin Releasing Hormone
<b>DHAA</b>	Dehydro Ascorbic Acid (Dehydroascorbinsäure)
<b>DPPH</b>	2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl
<b>FG</b>	Frischgewicht
<b>FRAP</b>	Ferric Reducing Antioxidant Power
<b>GLUT</b>	Glucosetransporter
<b>HAT</b>	Hydrogen Atom Transfer
<b>HDL</b>	High Density Lipoprotein
<b>HPLC</b>	High Performance Liquid Chromatography
<b>IfEW</b>	Institut für Ernährungswissenschaften
<b>L-AA</b>	L-Ascorbic Acid (L-Ascorbinsäure)
<b>LDL</b>	Low Density Lipoprotein
<b>LOX</b>	Lipoxygenase
<b>MO</b>	Mikroorganismen
<b>MW</b>	Mittelwert
<b>NADPH</b>	Nicotinamid-Adenin-Dinucleotid-Phosphat
<b>ORAC</b>	Oxygen Radical Absorbance Capacity
<b>PBS</b>	Phosphate Buffered Saline (Phosphat-gepufferte Salzlösung)
<b>Pkt.</b>	Punkte
<b>POD</b>	Peroxidase
<b>PFS</b>	Polyenfettsäuren
<b>QDA</b>	Quantitative Deskriptive Analyse
<b>RFO</b>	Raffinose Family Oligosaccharides
<b>RPM</b>	Revolutions per Minute
<b>ROS</b>	Reactive Oxygen Species (reaktive Sauerstoffverbindungen)
<b>sd</b>	Standardabweichung

<b>SET</b>	Single Electron Transfer
<b>SVCT</b>	Sodium dependent Vitamin C Transporter
<b>T-AA</b>	Total Ascorbic Acid (Gesamtascorbinsäure)
<b>TAC</b>	Total Antioxidant Capacity (Totale antioxidative Kapazität)
<b>TCEP</b>	Tris [2-Carboxyethyl] Phosphin-Hydrochlorid
<b>TEAC</b>	Trolox Equivalent Antioxidant Capacity
<b>TK</b>	Tiefkühl
<b>TRAP</b>	Total Radical-trapping Antioxidant Parameter
<b>TRH</b>	Thyreotropin Releasing Hormon
<b>Trolox</b>	6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxysäure
<b>Trolox-Ä</b>	Trolox Äquivalente
<b>TS</b>	Trockensubstanz
<b>USDA</b>	United States Department of Agriculture
<b>VLDL</b>	Very Low Density Lipoprotein
<b>VK</b>	Variationskoeffizient



# 1. Einleitung und Fragestellung

Gemüse und Obst sind ein wesentlicher Bestandteil einer gesunden und ausgewogenen Ernährung. Aufgrund des hohen Wassergehaltes sind diese Nahrungsmittel kalorien- und fettarm, besitzen aber gleichzeitig einen hohen Kohlenhydratanteil in Form von Ballaststoffen. Weiters liefern sie neben zahlreichen Mineralstoffen auch fett- und vor allem wasserlösliche Vitamine. Einige Vitamine, wie z.B. Vitamin C und E gelten zusammen mit zahlreichen sekundären Pflanzeninhaltsstoffen, wie z.B. phenolische Verbindungen und Carotinoide, als Antioxidantien.

Antioxidantien sind in der Lage reaktive Sauerstoffverbindungen (ROS) und freie Radikale unschädlich zu machen und können somit die Oxidation von anderen Substanzen verhindern oder verzögern. Es ist bekannt, dass freie Radikale ein wesentlicher Faktor in der Entstehung altersbedingter degenerativer Krankheiten sind.

Zahlreiche epidemiologische Studien haben gezeigt, dass der Verzehr von Gemüse eine starke und beständige Schutzfunktion gegenüber chronischen Krankheiten hat. Protektive Wirkungen wurden vor allem im Zusammenhang mit Krebs, kardiovaskulären und neurologischen Erkrankungen, Katarakt und Macula Degeneration sowie Immundysfunktion nachgewiesen [Gey et al., 1991; Schwartz, 1996; Block et al., 1992; Law und Morris, 1998].

Aufgrund des raschen Verderbs ist die Verfügbarkeit von frischem Obst und Gemüse eingeschränkt und zum Teil auch saisonal begrenzt. Deswegen gewinnen industriell verarbeitete Lebensmittel wie zum Beispiel Tiefkühlprodukte oder Sterilkonserven immer mehr an Bedeutung. Viele Konsumenten betrachten „frische“ Produkte jedoch als natürlicher, gesünder und infolgedessen reicher an Nährstoffen als verarbeitete Produkte, die selbst bei Anwendung der relativ milden Methode des Schnellgefrierens, als wesentlich nährstoffreduzierter angesehen werden [Favell, 1998]. Die ernährungsphysiologische Qualität (Nährwert) und die Sensorische Qualität (Genusswert) spielen für den Verbraucher eine große Rolle.

Die meisten Gemüsesorten werden üblicherweise vor dem Verzehr gekocht oder erhitzt wodurch es zu signifikanten Veränderungen der chemischen Zusammensetzung und Bioverfügbarkeit von bioaktiven Substanzen kommen kann. Die physikalischen Eigenschaften von Gemüse werden durch Hitzeeinwirkungen, sei es im Haushalt oder in der Industrie, stark beeinflusst bzw. beeinträchtigt. Für die Kaufentscheidung von Konsumenten sind, neben dem Nährstoffgehalt, besonders die Textur und Farbe von gekochtem Gemüse (Sterilkonserven) wichtige Parameter.

Hülsenfrüchte spielen in der Gruppe der Gemüse eine besondere Rolle, da sie im

Vergleich zu anderen Gemüsesorten einen hohen Protein- und auch Fettgehalt (Sojabohnen) aufweisen. Erbsen zählen zu den ältesten kultivierten Gemüsearten und werden heute weltweit angebaut. Die heute wichtigste Unterart ist *Pisum sativum* L. subsp. *sativum* und wird in die drei folgenden Bezeichnungen unterteilt: Palerbse, Markerbse und Zuckerschotenerbse. Grüne, unreife Erbsen sind hauptsächlich tiefgefroren oder als Konserven erhältlich, da die Zubereitung frischer Erbsen in der heutigen Zeit zu aufwändig erscheint.

Erbsen sind aufgrund der hohen Vitamin- und Mineralstoffgehalte ernährungsphysiologisch sehr wertvoll. Sie sind reich an vielen wichtigen Nährstoffen zu denen u.a. Vitamin C und zahlreiche Carotinoide gehören. Vitamin C hat als wasserlösliches Antioxidans viele wichtige Aufgaben im menschlichen Stoffwechsel, wie zum Beispiel als Cofaktor von Enzymen. Da Ascorbinsäure licht-, hitze- und oxidationsempfindlich ist, wird sie als sensibler Marker für die Kontrolle von Qualitätsveränderungen während des Transports, der Verarbeitung und der Lagerung eingesetzt.

Carotinoide sind fettlösliche, hochungesättigte Pflanzenfarbstoffe und zählen zu den wichtigsten Mikronährstoffen der menschlichen Ernährung. Zu den physiologischen Funktionen zählen die Provitamin-A Aktivität von  $\beta$ -Carotin,  $\alpha$ -Carotin und  $\beta$ -Cryptoxanthin sowie die antioxidative Wirkung. Licht und Hitze bewirken die Bildung von cis-Isomeren und vermindern dadurch die Vitamin A-Aktivität der Provitamine [Elmadfa und Leitzmann, 2004].

In der vorliegenden Arbeit werden fünf verschiedene Erbsenprodukte (Frische Erbsen, Frische Zuckerschoten-Erbsen, Tiefkühl-, Dosen- und Glaserbsen) auf ihren Vitamin C- und Carotinidgehalt sowie ihre totale antioxidative Kapazität untersucht. Um auch einen Überblick zu bekommen wie sich die Art der Bearbeitung auf die sensorischen Attribute auswirkt, werden sensorische Beurteilungen am Beispiel von Frischen Erbsen, Frischen Zuckerschoten-Erbsen, Tiefkühl-, Dosen- und Glaserbsen durchgeführt.

## 2. Literaturüberblick

### 2.1 Qualität

#### 2.1.1 Definition des Begriffes Qualität

Der Begriff „Qualität“ leitet sich aus dem Lateinischen „qualitas“ = Beschaffenheit [Böcker et al., 2004] bzw. „qualis“ = wie beschaffen ab.

„Qualität“ hat eine Begriffserweiterung und teilweise sogar eine Begriffsumwidmung allein auf das beurteilende Element erfahren. Heutzutage wird dieser Begriff sowohl im ursprünglichen Sinne der neutralen Beschreibung der Beschaffenheit eines Gegenstandes verwendet, als auch im erweiterten Sinne der Beurteilung der Eignung des Gegenstandes für einen bestimmten Zweck angewendet [Böcker et al., 2004].

Die Qualitätsdefinition des DIN EN ISO 8402 lautet: „Qualität ist die Gesamtheit von Merkmalen einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen“. Da diese Definition zu allgemein, zu technisch und zu wenig kundenorientiert war, wurde diese im Rahmen einer Neuorganisation des Normenwerks in die DIN EN ISO 9000 übergeführt. Die neue Qualitätsdefinition lautet nun: „Qualität ist das Vermögen einer Gesamtheit inhärente Merkmale eines Produktes, Systems oder Prozesses zur Erfüllung von Forderungen von Kunden und anderen interessierten Parteien“ [Böcker et al., 2004].

#### 2.1.2 Der Qualitätsbegriff

Es gibt 5 Arten von Qualitätsbegriffen, die jeweils auf unterschiedlichen Ansätzen zur Definition der Qualität basieren und die parallel zueinander verwendet werden:

1. Absoluter Qualitätsbegriff: Qualität ist mit hervorragender Qualität gleichgesetzt
2. Produktorientierter Qualitätsbegriff: Qualität ist eine präzise messbare Variable von mehreren Eigenschaften
3. Kundenorientierter Qualitätsbegriff: Qualität orientiert sich an der Zufriedenheit der individuellen Kundenbedürfnisse
4. Herstellungsorientierter Qualitätsbegriff: Qualität ist die Einhaltung vorgegebener Standards gemäß 2. oder 3.
5. Wertorientierter Qualitätsbegriff: Qualität wird im Sinne eines Preis-Leistungs-Verhältnisses beurteilt [Böcker et al., 2004].

Der Begriff der Qualität hat sich ursprünglich nur auf das hergestellte Produkt bezogen, doch in den letzten Jahrzehnten wurde er auf das gesamte System von Produktplanung, Produktion, Handel, Nutzung und Entsorgung erweitert [Dürschmid und Zenz, 2000].

„Lebensmittelqualität ist ein dynamischen, soziologischen Veränderungen und neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen unterworfenen Begriff, der stets nach einer individuellen Rangordnung der Werte definiert wird“ [Pfannhauser, 2001].

Die Europäische Union beschreibt Lebensmittelqualität als „die Gesamtheit von Merkmalen und Kennzeichen eines Produktes, die seine Eignung betreffen, ein bestimmtes Bedürfnis zufrieden zu stellen“ [Pfannhauser, 2001].

### 2.1.3 Qualität von Lebensmitteln

An die Qualität von Lebensmitteln werden verschiedene Anforderungen gestellt, abhängig davon, welche Sichtweise zum Tragen kommt:

- Für den Hersteller sind technologische Anforderungen wichtig.
- Für den Handel stehen Anforderungen hinsichtlich der Logistik und der Werbung im Vordergrund.
- Für den Verbraucher spielen die gesundheitliche Unbedenklichkeit, der Geschmack und der Nährwert eine große Rolle [Majchrzak, 2008/09].

Der Konsument kann sich aufgrund bestimmter intrinsischer (Farbe, Form, Geruch, Aussehen) und extrinsischer Qualitätsindikatoren (Verpackung, Marketing, Preis, Marke, Herkunftsland) ein Bild von den zu erwartenden Qualitätsmerkmalen eines Produktes machen. Da die Qualitätsmerkmale vor dem Konsum jedoch nicht wahrnehmbar sind, werden sie über die Indikatoren wahrgenommen: Erfahrbare Qualitätsmerkmale sind Geschmack, Geruch, Aroma und Frische. „Zu glaubende“/Vertrauens- Qualitätsmerkmale sind Gesundheitsnutzen, Gesamtheitlichkeit, Natürlichkeit, Exklusivität und Ökologische Verträglichkeit [Dürschmid und Zenz, 2000].

Im naturwissenschaftlichen Ansatz wird die Qualität mittels Parametern beschrieben und gemessen, die jedoch von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig sind, welche dann Gegenstand der Analyse sind. Bei der Extremform dieses Ansatzes wird nur das als Qualität verstanden, was mit Parametern messbar ist [Becker, 2002].

Die Gesamtqualität eines Lebensmittels gliedert sich in folgende Teilqualitäten:

- Ernährungsphysiologische Qualität (Nährwert und/oder Gesundheitswert)
- Sensorische Qualität (Genusswert)
- Ökonomische Qualität (Gebrauchs- oder Eignungswert, Preis usw.)
- Haltbarkeitswert
- Hygienische Qualität
- Vermarktungsqualität

- Ökologische Qualität (Produktion mit geringer Auswirkung auf Umwelt)
- Ethische Qualität (z. B. Bedingungen bei der Tierzucht)
- Politischer Wert (z. B. Nahrungsmittelüberschüsse, Import– oder Exportbeschränkungen oder –unterstützungen) [Berghofer, 2002].

Der Begriff „Qualität“ hat beim Konsumenten einen hohen Stellenwert, wobei dieser bei den Grundnahrungsmitteln wie Fleisch, Gemüse oder Obst höchste Priorität besitzt. Denn mit zunehmendem Verarbeitungsgrad wird die Qualität unwichtiger. Dies zeigt sich deutlich bei Konserven, da deren Qualität nur mehr für 1/3 der Verbraucher sehr wichtig ist [Biesalski und Grimm, 2007].

Laut dem österreichischen Lebensmittelbericht haben beim Lebensmitteleinkauf die Herkunft, die Qualität, die Regionalität der Produkte und die Frische der Lebensmittel eine große Bedeutung. Besonders die Frische hat seit Jahren eine zentrale Bedeutung der Lebensmittelqualität. Bei Obst und Gemüse ist sie naturgemäß, neben dem Aussehen, sehr wichtig [BMLFUW, 2008].

Der Begriff der Lebensqualität umfasst sowohl die Produkt– als auch die Prozessqualität. Die Bestimmung der Produktqualität erfolgt hauptsächlich durch den Nährwert, den Gebrauchs– und Genusswert, da es sich hierbei um Eigenschaften handelt, die am Lebensmittel nachgewiesen und kontrolliert werden können. Die Bestimmung der Prozessqualität erfolgt durch die Art und Auswirkungen des Anbaus und der Tierhaltung, die Beachtung des Tierschutzes, des Umweltschutzes und der Nachhaltigkeit. Diese Eigenschaften sind zwar nicht unmittelbar am Produkt nachweisbar, aber sie können produktionsbedingt dokumentiert und kontrolliert werden [Bruhn, 2003].

#### **2.1.4 Minderung der Qualität von Lebensmitteln**

Die Ressourcen der Lebensmittelproduktion sind sowohl pflanzlicher als auch tierischer Herkunft und sind als biologisch aktive Stoffe den Wechselwirkungen mit der Umwelt stark ausgesetzt. Dadurch ergeben sich folgende Aspekte:

- Große Unterschiede der Qualitäts– und Verarbeitungseigenschaften
- Meist geringe Haltbarkeit und schneller Qualitätsverlust
- Komplexe Zusammensetzungen führen zu Verarbeitungsgrenzen bezüglich Temperatur, Druck und mechanischer Beanspruchung
- Eine zuverlässige Qualitätskontrolle für die leicht verderblichen Roh–, Zwischen– und Endprodukte sind notwendig, um eine hohe Erzeugnisqualität zu garantieren
- Hohe hygienische, sensorische und ernährungsphysiologische Anforderungen an die Fertigprodukte
- Enger Zusammenhang zwischen Rohstoffqualität und Erzeugnisqualität
- Durch zeitlich limitierte Rohstoffaufkommen sind geeignete Konservierungs– und Lagerungsverfahren erforderlich [Tscheuschner, 2004].

Es gibt zahlreiche Faktoren, die eine Qualitätsminderung verursachen können, welche bei der Produktion qualitativ hochwertiger Lebensmittel berücksichtigt werden müssen. Sie lassen sich in Vorernte-, Ernte- und Nacherntefaktoren einteilen.

### 2.1.4.1 Vorerntefaktoren

Zu den Vorerntefaktoren zählen klimatische Bedingungen, Bodenbeschaffenheit und landwirtschaftliche Methoden.

- Großen Einfluss auf die chemische Zusammensetzung der Kulturpflanzen haben Licht, die durchschnittliche Temperatur sowie die Bodenbeschaffenheit. So haben Menge und Intensität des Lichtes während der Wachstumsphase eine große Bedeutung auf z. B. den Vitamin C Gehalt, da Ascorbinsäure in Pflanzen mittels Photosynthese aus Zuckern synthetisiert wird [Lee und Kader, 2000].
- Auch die in der Landwirtschaft übliche Düngung hat einen Einfluss auf die chemische Zusammensetzung. Laut Mozafar [1993] bewirken besonders hohe Dosen an Stickstoffdünger eine Abnahme des Vitamin C Gehaltes in verschiedenen Früchten und Gemüsearten. Hingegen resultierte eine Stickstoffdüngung in einer Zunahme der Konzentration von Carotinoiden und Vitamin B<sub>1</sub>.

### 2.1.4.2 Erntefaktoren

Erntezeitpunkt, Reifegrad, Witterung und Erntemethoden haben einen großen Einfluss auf die Lagerfähigkeit von Gemüse.

- Der Reifegrad kann in die 3 folgenden Stadien unterteilt werden:
  - Genuss- oder Verbrauchsreife: Geerntetes Gemüse ist zum sofortigen Verzehr geeignet, da es die optimale Zusammensetzung besitzt. Die Vermarktungs- und Verarbeitungskette ist sehr kurz, da keine lange Lagerung möglich ist.
  - Technische Reife oder auch Versand- bzw. Lagerreife
  - Physiologische Reife: Die Entwicklung des Gemüses findet den biologischen Abschluss. Die Genussreife ist bereits überschritten [Schnitzler, 2002].
- Die Art und Weise der Ernte bestimmt das Ausmaß an Beschädigungen wie Quetschungen, Oberflächenabschürfungen oder Schnitte und den möglichen Qualitätsminderungen infolge von Vitaminverlusten [Lee und Kader, 2000].

### 2.1.4.3 Nacherntefaktoren

Nacherntefaktoren haben eine große Bedeutung, da frisch geerntete Früchte und Gemüse als lebende Gewebe weiterhin kontinuierlichen Veränderungen unterliegen [Lee und Kader, 2000]. Zu diesen Faktoren zählen Transport, zwischenzeitliche Lagerungen, industrielle Verarbeitungsprozesse und die anschließende Lagerung. Folgende Mechanismen können bei Lebensmitteln zu Qualitätsminderung und Verderb führen:

- Physikalische Vorgänge: Quellung, Austrocknung, Aromaverflüchtigung
- Thermische Reaktionen: Abbaureaktion von Vitamin C und Aromastoffen, Bräunungsreaktionen, Fettzersetzung
- Biochemische Veränderungen: Wirkung der Eigenenzyme bei Sauerstoffzutritt
- Mikrobiologische Vorgänge: Gären, Schimmeln, Faulen durch Mikroorganismen, Toxinbildung

Mit Hilfe verschiedener technischer Prozesse können diese Veränderungen kontrolliert und Lebensmittel haltbar gemacht werden. Für Obst und Gemüse gibt es folgende Möglichkeiten:

- Temperaturänderung: Blanchieren, Pasteurisieren, Sterilisieren, Kühllagerung, Gefrierlagerung
- Feuchtigkeitsentzug: Trocknen, Gefriertrocknen, Einsalzen
- Senkung des pH-Wertes: Einsäuern

Allgemein besitzen frisch geerntete Früchte und Gemüse mehr Vitamin C als gelagertes, wodurch frische Ware schnellst möglich zu den verarbeitenden Betrieben transportiert werden sollte.

- Der Transport der geernteten Ware sollte unter kühlen Bedingungen erfolgen, da hierdurch mögliche Wasserverluste, beginnender Verderb und folgende Minderungen der Lebensmittelqualität verringert werden [Lee und Kader, 2000].
- Früchte und Gemüse zeigen im Allgemeinen eine sukzessive Abnahme von Ascorbinsäure mit zunehmender Lagertemperatur- und -dauer. Entsprechend des Grades der Aufrechterhaltung des Ascorbinsäuregehaltes lassen sich Gemüse in drei Gruppen einteilen: 1. Großes Retentionsvermögen, welches bei Gemüsesorten mit hohem Schwefelgehalt beobachtet wurde (mehr als 95% bei Broccoli, Kohlsprossen), 2. mittleres Retentionsvermögen (65–70% für Grüne Erbsen, Spinat, Rüben) und 3. geringes Retentionsvermögen (5–30% bei Spargel, grünen Bohnen) [Lee und Kader, 2000].
- Nach der Ernte hat neben der Lagerung auch die weitere Verarbeitung der Waren einen Einfluss auf die Qualität der jeweiligen Produkte. So besitzt bereits die industrielle Vorbehandlung (Waschen, Putzen, Blanchieren) von Gemüse eine große Bedeutung, da schon bei diesen Schritten enorme Verluste an wertgebenden Inhaltsstoffen auftreten und es zu erheblichen Beschädigungen des Erntegutes kommen kann, die wiederum einen großen Einfluss auf den nachfolgenden Lagerverlauf haben [Berger, 2006; Herrmann, 1996].
- Der Blanchierprozess dient vorrangig der Haltbarmachung von Lebensmitteln durch Enzyminaktivierung, doch führt dieser Prozess auch gleichzeitig zu Vitaminverlusten. Besonders beim Wasserblanchieren kann es zu Verlusten an wasserlöslichen Vitaminen wie Vitamin C und B-Vitaminen kommen. Hierbei wurden Vitamin C

Verluste in Spinat und feinstückigen Gütern (Erbsen, Schnittbohnen) von 10–50% ermittelt, wobei diese höhere Verluste erleiden als großstückige Güter (Karfiol, Kohlsprossen) [Herrmann, 1996].

- Blanchiertes Gemüse kann anschließend entweder Tiefgefroren oder mittels Sterilisation konserviert werden. Beide Verfahren sowie die jeweiligen Lagerungsbedingungen wirken sich verschieden auf die Qualität der Lebensmittel aus. Der Gefrierschritt bewirkt im Unterschied zur Sterilisation keine Nährwertänderung. Jedoch werden die wertgebenden Inhaltsstoffe durch die Lagerdauer und –temperatur sowie durch das Auftauen und den anschließenden Kochprozess beeinflusst. Der Sterilisationsvorgang erfordert eine Erhitzung der Konserven auf 120°C und führt folglich zu einem teilweise hitzebedingten Abbau der Vitamine B<sub>1</sub> und C. Hingegen sind bei hitzesterilisierten Konserven keine Oxidationen zu beobachten. Wird die Raumtemperatur während der Lagerung beachtet, so bleiben die Nährstoffgehalte über mehrere Jahre praktisch stabil [Escher, 2002].

## 2.2 Grüne Erbsen

### 2.2.1 Systematik

Hülsenfrüchte, die so genannten Leguminosen, werden in der Pflanzensystematik in die Abteilung der Angiospermae (bedecktsamige Pflanzen) und weiters in die Klasse der Dicotyledonae (zweikeimblättrige Pflanzen) eingeordnet. Weiters gehören sie in die Unterklasse der Archiclamideae (Pflanzen, deren Kronblätter nicht verwachsen sind), in die 23. Reihe der Rosales und dort in die Familie der Leguminosae (Fabales). Die Familie der Leguminosae umfasst ca. 600 Gattungen mit über 13.000 Arten, deren Merkmal zygomorphe Blüten und daraus entwickelte Früchte (meist Hülsen) sind. Die Leguminosae unterteilen sich noch mal in 3 Unterfamilien, die *Mimosoideae*, die *Caesalpinioideae* und die *Papilionoideae* (Schmetterlingsblütler). Alle landwirtschaftlich wichtigen Arten sind in der Unterfamilie der Papilionoideae zu finden [Stählin et al., 1998].

### 2.2.2 Herkunft und Anbau

Die Erbse, *Pisum sativum*, gehört zu den ältesten kultivierten Gemüsearten. Sie ist die älteste Nutzpflanze in der Familie der Hülsenfrüchte. Die Wildform, *Pisum elatius*, ist im östlichen Mittelmeergebiet, in Vorder- und Mittelasien beheimatet. Durch Mutation ist aus der Wilderbse zunächst die Futtererbse und aus dieser dann die weißblütige Gartenerbse hervorgegangen, welche heute als Kulturpflanze bedeutend ist. Die Pflanze bevorzugt ein mildes Klima, erträgt aber leichten Frost. Erbsen werden überwiegend in Europa, China, Indien sowie Nord- und Südamerika angebaut (Abb. 2.1) [Max-Planck-Institut, 2009].

Weltweit gesehen liegt der Erbsenanbau, flächenmäßig, an der 4. Stelle, direkt hinter Sojabohnen, Erdnüssen und Trockenbohnen [Alonso et al., 2000].



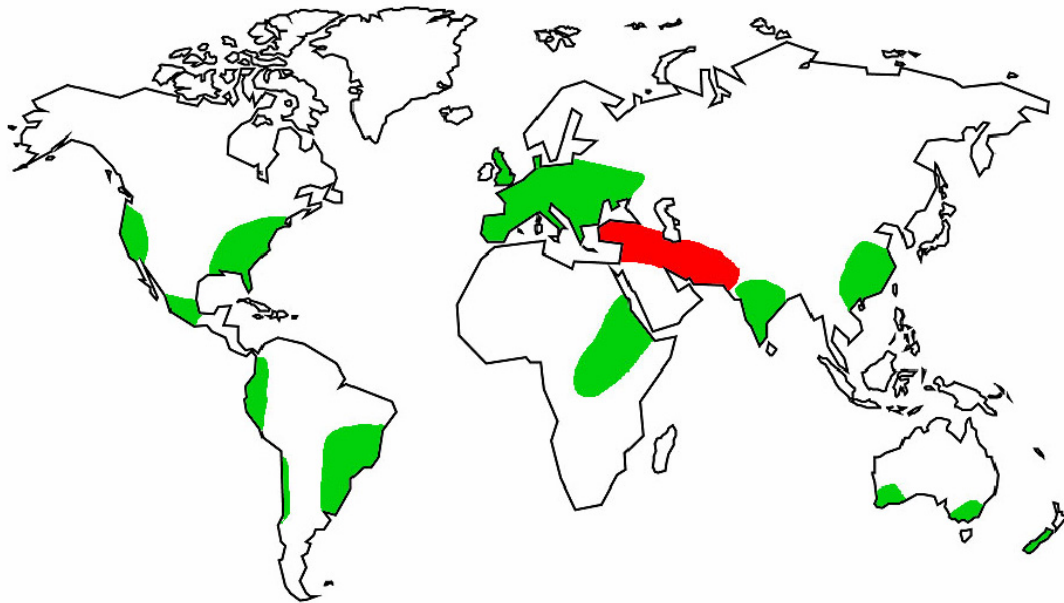


Abbildung 2.1: *Geographische Verbreitung der grünen Erbse. Herkunft ist rot und Anbau ist grün dargestellt [Max-Planck-Institut, 2009].*

In Österreich hat sich die Anbaufläche von Grünerbsen in den Jahren 2006 bis 2008 fast verdoppelt. Waren es 2006 noch 1507 ha, so waren es 2008 bereits 2806 ha. Im Vergleich der Bundesländer liegt Niederösterreich mit einer Anbaufläche von 2800 ha und einem Ernteertrag von 11200 Tonnen im Jahr 2008 an erster Stelle [Statistik-Austria, 2007, 2009].

### 2.2.3 Beschreibung

Erbsenpflanzen sind einjährige krautige Pflanzen, deren Spross bei niederen Sorten bis 15 cm und bei hohen Sorten bis zu zwei Meter lang werden kann, wobei die Blattstiele in Wickelranken enden [Liebster, 1990]. Die Aussaat erfolgt von Mitte März bis Ende April, der Aufgang der Keimlinge ist von April bis Mitte Mai zu beobachten, die Blütezeit ist von Mitte Mai bis Ende Juni und die Ernte erfolgt von Mitte Juni bis Ende Juli [Bisovsky et al., 2004]. Die Hülsenfrüchte sind drei bis zwölf Zentimeter lang, ein bis zweieinhalb Zentimeter dick, meist gerade bis leicht gekrümmt und je nach Sorte und Reifegrad gelb, grün, purpurfarben oder bräunlich, selten schwarz. In den Hülsen befinden sich vier bis 10 meist runde, abgeflachte bis fast quadratische Samen, die wie die Pflanze Erbsen genannt werden. Die Samen sind drei bis neun Millimeter groß, glatt oder runzelig und je nach Sorte unterschiedlich gefärbt [Schuster, 1998]. Es gibt verschiedenen Bezeichnungen für die Art *Pisum sativum* L., unter anderem Field Pea (Felderbse), Garden Pea (Gartenerbse), Green Pea (Grüne Erbse), Yellow Pea (Gelbe Erbse), Smooth

Pea (Glatte Erbse) und Wrinkled Pea (Runzlige Erbse) etc. [Ratnayake et al., 2002].

Es gibt unzählige Erbsentypen und -bezeichnungen, wobei anbautechnisch zwischen Gemüseerbsen und Trockenspeiseerbsen unterschieden wird. Geerntet werden Gemüseerbsen im grünen, krautartigen Zustand. Anschließend können sie entweder mit oder ohne Hülse roh oder gekocht verzehrt oder zu Steril- oder Gefrierkonserven verarbeitet werden [Ternes et al., 2005].

Die heute wichtigste Unterart ist *Pisum sativum* L. subsp. *sativum*, die durch Zucht aus der Unterart *Pisum sativum* subsp. *elatius* entstanden ist und deren Unterscheidung in die folgenden drei Gruppen einerseits für den Gemüsehandel und andererseits für die Verwendung von Erbsen sinnvoll ist.

- **Palerbsen** (*Pisum sativum* L. convar. *Sativum*), auch Schal-, Pahl- oder Kneifelerbse genannt. Sie besitzen ein glattes, rundes Samenkorn in einer hartschaligen, grünen Hülse. Palerbsen werden entweder früh geerntet, solange die Samen noch klein, zart und grün sind oder erst, wenn die Samen reif und ausgewachsen, trocken und gelb oder grün sind (Trockenerbsen). Palerbsen enthaltenen Kohlenhydrate hauptsächlich in Form von Stärke, weshalb sie leicht mehlig schmecken [Brockhaus, 2008].
- **Markerbsen** (*Pisum sativum* L. convar. *medullare*) sind etwas größere, runzelige oder geschrumpfte Samen. Durch ihren hohen Gehalt an Kohlenhydraten in Form von Saccharose schmecken sie süß. Markerbsen werden meistens zur Konservierung genutzt: helle Sorten werden für die Nasskonservierung, dunkle Sorten für die Frostung bevorzugt [Brockhaus, 2008].
- **Zuckererbsen** (*Pisum sativum* L. convar. *axiphium*), auch Zuckerschoten, Kaiserschoten oder Kiefelderbsen genannt. Das Aussehen ähnelt dem von Bohnen. Sie besitzen nicht wie die Pal- und Markerbsen eine ungenießbare Pergamentschicht an der Innenwand der Hülse. Zuckererbsen sind besonders reich an Zucker. Es werden hauptsächlich ganze, fleischige, unreife und süße Hülsen mit den noch unentwickelten Samen zubereitet und verzehrt [Brockhaus, 2008].

Gemüseerbsen können ebenfalls getrocknet werden, indem man die unausgereiften, zum Frischverzehr geeigneten Erbsen zu Trockengemüse verarbeitet. Nur wird zum Unterschied der, nachstehend beschrieben, Trockenspeiseerbse die getrocknete Gemüseerbse als Gemüsetrockenerbse bzw. als Trockenerbse bezeichnet [Ternes et al., 2005].

- **Trockenspeiseerbsen:** In diese vierte Gruppe gehören alle Erbsen, die in der Hülse an der Pflanze ausreifen und die kurz vor dem Ausfallen geerntet werden [Ternes et al., 2005]. Für den Handel werden fast ausschließlich Palerbsen verwendet. Trockenerbsen werden meist geschält, da die äußere Samenschale hart und schwer verdaulich ist. Da die Erbsen durch den Schälvorgang unansehnlich werden, schleift und poliert man sie anschließend. Dabei zerfallen viele Erbsen in die zwei Keimblätter, welche dann unter der Bezeichnung „geschälte halbe Erbsen“, „Splitter- oder Spalterbsen“ preiswerter verkauft werden, obwohl sie den gleichen Nährwert besitzen [Brockhaus, 2008].

### 2.2.4 Verwendung

Ein althergebrachtes Produkt ist die Erbsensuppe, hergestellt aus geschälten Erbsen (Trockenerbsen), die durch Entfernung der äußeren Samenschale eine wesentlich geringere Kochzeit haben. Diese Art der Zubereitung, als Suppe oder Brei, ist die ursprüngliche Verwendungsform, wie die heute noch in vielen Ländern verbreitete Erbsensuppe zeigt. Ebenso die Erbswurst, die eines der ältesten industriell hergestellten Fertigprodukte ist [Schuster, 1998].

Erbswurst: „Ein aus Erbsmehl in Wurstform gepresstes, kochfertiges Suppenerzeugnis, dem Gewürze, Salz, Speck usw. zugesetzt sind und das nach kurzer Kochzeit der Bereitung einer Erbsensuppe dient“ [Ternes et al., 2005].

Erbsmehl: „Ein aus gelben, in Ostengland wachsenden Felderbsen, hergestelltes braungelbes, leicht grießiges Mehl. Es wird leicht geröstet, wobei der Zucker karamellisiert und das Mehl dunkelt. Nach Beendigung der Bearbeitung wird es in luftdichten Behältnissen versandt. Das Erbsmehl wird hauptsächlich in Schottland für spezielle regionale Speisen verwendet“ [Ternes et al., 2005].

Ungeschälte Trockenerbsen sollten vor dem Garen ca. sechs Stunden eingeweicht werden. Grüne, unreife Erbsen sind hauptsächlich tiefgefroren oder als Konserven erhältlich, werden aber auch als frisches Gemüse angeboten.

Ein Großteil der Erbsenproduktion wird als Futterpflanze für die Tierernährung verwendet. Verfüttert werden Erbsenschrot aus Trockenerbsen, Erbsenfuttermehl aus der Nahrungsmittelproduktion und Erbsenkleie als Rückstand der Schälmillerei. Des Weiteren wird die Erbse auch als Grünfutter verwendet [Schuster, 1998].

Obwohl Erbsen und Erbsenmehle seit Jahrtausenden Bestandteil der menschlichen Ernährung sind, bemüht man sich erst seit wenigen Jahren um die Gewinnung von Erbsenstärken. Erbsenstärke hat einen hohen Amyloseanteil (bis 70%) und unterscheidet sich in Folge dessen von den meisten natürlichen Stärken, deren Amylosegehalt bei rund 25% liegt. Bisher werden nur Palerbsen industriell genutzt, da sie glatte, rund-ovale Stärkekörner und einen Amylosegehalt von 33–49% besitzen. Bei Markerbsen hingegen sind Form und Aufbau der Stärkekörner sowie der Amylosegehalt von 60–88% für viele technische Schwierigkeiten bei der Stärkegewinnung verantwortlich. Die Anwendungsmöglichkeiten von Erbsenstärken resultieren aus ihren spezifischen Eigenschaften wie eine erhöhte Säure-, Enzym- und Scherstabilität und ein erhöhtes Gelbildungsvermögen, jedoch nur ein begrenztes Quellvermögen [Stute, 1990; Ebermann und Elmadfa, 2008; Ratnayake et al., 2002]. Nach Stute [1990] ist Erbsenstärke für die Herstellung von

1. Gelen, welche im Vergleich zu Maisstärke 50% weniger Stärke benötigen,
2. extrudierten Produkten oder Instant-Stärken mittels Extruder,
3. Quellstärken oder Frucht- und Gemüseflocken,
4. pülpigen Produkten mittels Schwammtechnologie (Einfrieren, Auftauen) oder
5. Quellstärken mit gelbindenden Eigenschaften

geeignet.

Der Anbau der Hülsenfrüchte hat auch aufgrund des Vorfruchtwertes, im Sinne einer Gründüngung, für nachfolgende Ackerfrüchte eine große wirtschaftliche Bedeutung. Da Leguminosen mit Knöllchenbakterien Symbiosen eingehen können, sind sie in der Lage bis zu 240 kg/ha reinen Stickstoff im Boden anzureichern, der den darauf folgenden Pflanzen zur Verfügung steht [Sell, 2004].

## 2.3 Inhaltsstoffe von grünen, unreifen, rohen Erbsen

### 2.3.1 Chemische Zusammensetzung

Grüne, unreife, rohe Erbsen bestehen mit 70–80% zum überwiegenden Teil aus Wasser. Der Trockenmasseanteil beträgt 18–20% und setzt sich aus 5–8% Protein, 10–15% Kohlenhydraten (KH), 0.5% Fett und 1% Mineralstoffe zusammen (Abb. 2.2).

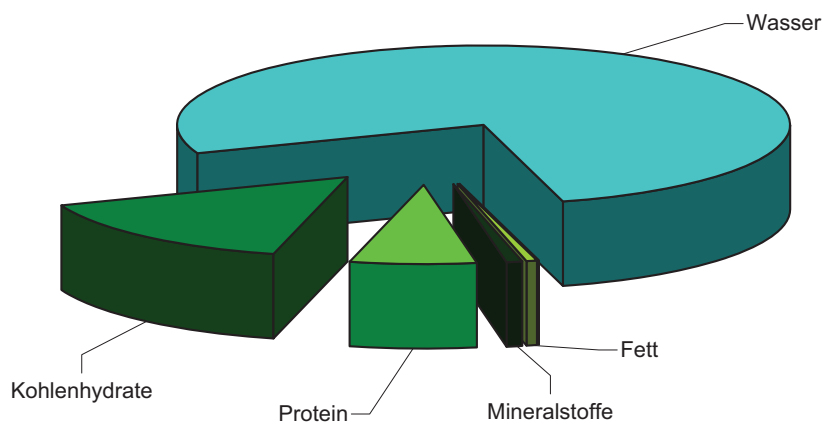


Abbildung 2.2: *Chemische Zusammensetzung von grünen Erbsen [Souci et al., 2008].*

Der verwertbare Anteil an **Kohlenhydraten** in grünen Erbsen liegt bei 12.3 g, wobei Stärke mit 11 g vorliegt und somit 90% der KH ausmacht, gefolgt von Saccharose mit 1150 mg. Der Gehalt an Glucose liegt bei 88 mg, der Gehalt an Fructose bei 65 mg. Der Ballaststoffgehalt beträgt 5%, wobei der wasserlösliche Anteil 260 mg und der wasserunlösliche Anteil 3990 mg ausmachen. Cellulose besitzt mit 2090 mg den größten Anteil an den wasserunlöslichen Ballaststoffen, gefolgt von den Hemicellulosen, Pentosen und Hexosen mit jeweils 700 mg [Souci et al., 2008].

Erbsen enthalten auch die Oligosaccharide der Raffinose-Familie (RFO) Raffinose, Stachyose und Verbascose, die während der Reife in den Samen von Hülsenfrüchten angereichert werden. Diese unverdaulichen KH führen jedoch zu unbehaglicher Flatulenz. Durch das Fehlen der  $\alpha$ -Galactosidase im menschlichen Darmtrakt werden diese Verbindungen im Dünndarm nicht abgebaut und gelangen in den Dickdarm. Dort werden sie von anaeroben Mikroorganismen der Darmflora zu kurzkettigen Fettsäuren und Gasen ( $H_2$  und  $CO_2$ ) abgebaut [Schnitzler, 2002; Ekvall et al., 2006].

Der Gehalt an den Kohlenhydraten der Raffinose-Familie ist in unreifen Erbsen geringer, da sich diese KH erst im Laufe der Reifung anreichern und den Samen dann als Energiequelle bei der Keimung zur Verfügung stehen. Wässern und eine lange Kochzeit reduzieren den Gehalt an RFOs. Die Analyse von [Ekvall et al., 2007], die die Auswirkungen des Blanchierens auf diese Kohlenhydrate untersuchten, bestätigte, dass ein Drittel der RFOs verloren geht.

Weiters können diese Oligosaccharide durch Fermentation, Keimung oder in geringerem Maß durch Einweichen entfernt werden. Da sie jedoch auch als Präbiotika wirken, ist eine gänzliche Entfernung nicht unbedingt wünschenswert [Linsberger et al., 2006].

Der **Proteingehalt** ist ebenso wie der Mineralstoffgehalt von verschiedenen Faktoren wie Sorte, Größe, Klimatischen Bedingungen und Bodenbeschaffenheit abhängig und liegt bei durchschnittlich 6.5 g/100 g FG [Souci et al., 2008] bzw. 27 g/100 g TS [Elmadfa und Leitzmann, 2004]. So ermittelten z.B. Iqbal et al. [2006] in grünen Erbsen einen Rohproteingehalt von 24.9 g/100 g. Periago et al. [1996a] untersuchten zwei verschiedene Erbsensorten und erhielten Rohproteingehalte von 25–30 g/100 g, wobei der Gehalt an Reinprotein mit der Größe der Erbsen zunahm und bei 8–20 g/100 g lag. Das Reinprotein der Erbsen besteht zu 65–80% aus Globulinen und 20–35% aus Albuminen, den beiden so genannten Konstitutionsproteinen und 1% aus Glutelinen, den Lagerproteinen [Periago et al., 1996a; Marquard, 1998].

Um den nutritiven Wert von Erbsenprotein, der im Vergleich zu tierischem Protein geringer ist, zu erhöhen, sollten Erbsen in Kombination mit Getreide oder anderen Proteinquellen wie Milch- und Milchprodukten, Eier oder Fleisch verzehrt werden [Iqbal et al., 2006].

### 2.3.2 Vitamine

Aufgrund der hohen Vitamin- (Abb. 2.3 und 2.4) und Mineralstoffgehalte (Abb. 2.5 und 2.6) sind Gemüseerbsen ernährungsphysiologisch sehr wertvoll und werden zu den nährstoffreichsten Gemüsearten gezählt.

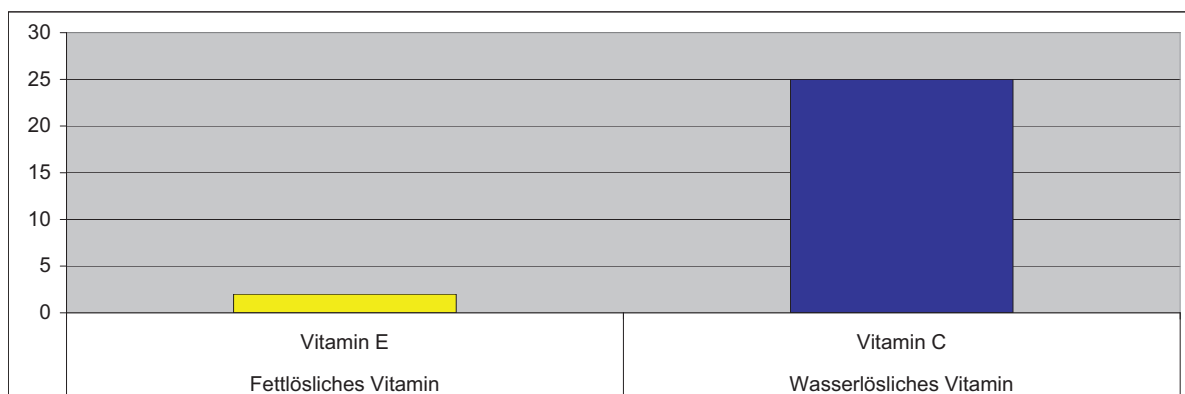


Abbildung 2.3: Gehalt an Vitamin E (mg/100g) und Vitamin C (mg/100g) in grünen Erbsen [Souci et al., 2008].

Bei Betrachtung der Vitamingehalte (Abb. 2.3) wird ersichtlich, dass der durchschnittliche Gehalt an Vitamin C in grünen Erbsen bei 25 mg/100 g Frischgewicht liegt. Im Vergleich mit dem durchschnittlichen Vitamin C-Gehalt eines rohen, ungeschälten Apfels mit 12 mg/100 g oder rohen Tomaten mit 25 mg/100 g [Elmadfa und Leitzmann, 2004] können grüne Erbsen sehr wohl als vergleichbare Vitamin C Quellen erachtet werden. Erbsen enthalten wie Bohnen und Linsen nur sehr geringe Mengen Fett (1–3%) im Gegensatz zu anderen Vertretern der Leguminosen, wie Sojabohnen oder Lupinen (5–20%). Jedoch ist der Gehalt an Vitamin E, im Vergleich zu anderen Gemüsearten, in grünen Erbsen mit 2 mg/100 g [Souci et al., 2008] recht beachtlich. Hervorzuheben ist außerdem auch der durchschnittliche Gehalt an Folsäure mit 159 µg/100 g Frischgewicht, wodurch dieses Gemüse zu einem der folsäurereichsten Gemüsearten zählt. Unter Berücksichtigung der empfohlenen Aufnahmemenge von 400 µg pro Person und Tag können grüne Erbsen als wesentliche Folsäurelieferanten betrachtet werden. Im Übrigen decken 100 g grüne Erbsen mit 300 µg Thiamin/100 g Frischgewicht bereits 30% des Tagesbedarfes an Vitamin B<sub>1</sub>. Die weiteren Vitamingehalte liegen für Pantothensäure bei 720 µg/100 g, für Riboflavin bei 160 µg/100 g, für Pyridoxin bei 160 µg/100 g und für Vitamin K bei 29 µg/100 g Frischgewicht (Abb. 2.4).

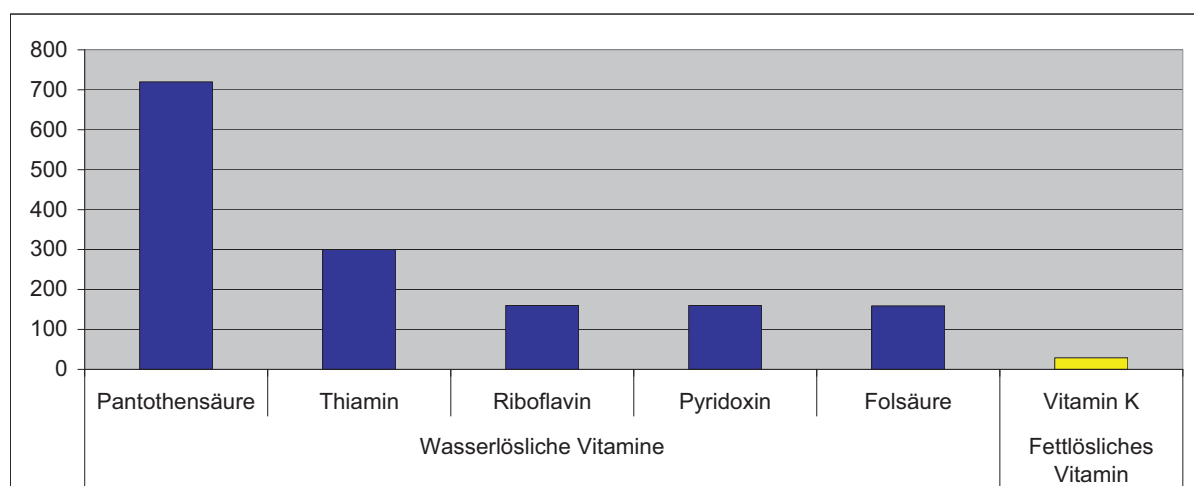


Abbildung 2.4: Gehalt (µg/100g) an Pantothensäure, Thiamin, Riboflavin, Pyridoxin, Folsäure und Vitamin K in grünen Erbsen [Souci et al., 2008].

### 2.3.3 Mineralstoffe

In Erbsen ist Kalium mit einem Gehalt von 252 mg/100 g der dominierende Mineralstoff, gefolgt von Phosphor mit 118 mg/100 g, Chlorid mit 40 mg/100 g, Magnesium mit 36 mg/100 g und Calcium mit 26 mg/100 g Frischgewicht (Abb. 2.5). Nach [Elmadfa und Leitzmann, 2004] enthalten Hülsenfrüchte doppelt soviel Phosphor wie Calcium. Nach Iqbal et al. [2006] beträgt der Ca/P-Quotient in grünen Erbsen 0.39 gefolgt von Linsen mit 0.41 und Kuherbsen (Cowpea) mit 0.59. Der bedeutendste Quotient wurde mit 0.78 in Kichererbsen (Chickpea) gefunden [Iqbal et al., 2006].

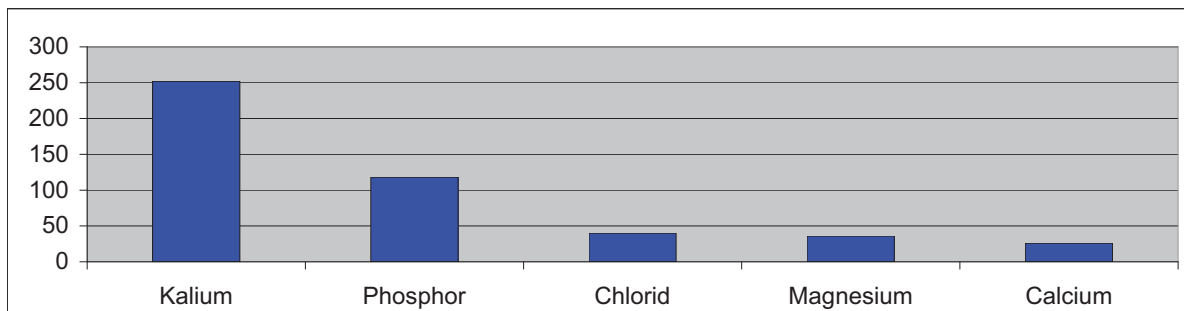


Abbildung 2.5: *Gehalte an ausgewählten Mineralstoffen in grünen Erbsen (mg/100g) [Souci et al., 2008].*

Die weiteren Mineralstoffgehalte liegen für Eisen bei 1.6 mg/100 g, für Zink bei 0.86 mg/100 g, für Mangan bei 0.35 mg/100 g und für Kupfer bei 0.05 mg/100 g Frischgewicht (Abb. 2.6).

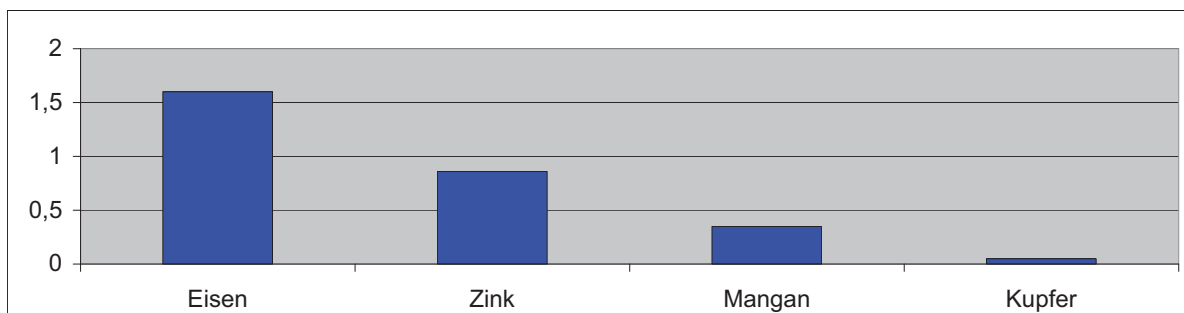


Abbildung 2.6: *Gehalte an ausgewählten Mineralstoffen in grünen Erbsen (mg/100g) [Souci et al., 2008].*

#### 2.3.4 Essentielle Aminosäuren

Grüne Erbsen enthalten essentielle Aminosäuren (AS) in folgenden Konzentrationen: Leucin 670 mg/100 g, Lysin 610 mg/100 g, Isoleucin 540 mg/100 g, Valin 520 mg/100 g, Threonin 450 mg/100 g, Phenylalanin 400 mg/100 g, Tryptophan und Methionin mit jeweils 100 mg/100 g Frischgewicht (Abb. 2.7).

Es ist bekannt, dass Erbsen reich an essentiellen AS wie Leucin, Lysin und Isoleucin sind und daher für die Bedarfsdeckung geeignet sind, mit Ausnahme der S-haltigen AS (Methionin, Cystein) und Tryptophan [Iqbal et al., 2006]. Periago et al. [1996a] untersuchten den Gehalt an AS in zwei verschiedenen grünen Erbsensorten, die jeweils in die vier üblichen Handelsklassen unterteilt wurden (super fine, very fine, fine und medium). Die Untersuchungen zeigten, dass sich im Allgemeinen die AS-Konzentrationen mit zunehmender Erbsengröße erhöhen. Dies trifft vor allem auf die essentiellen AS Threonin, Methionin, Isoleucin, Leucin, Tyrosin und Phenylalanin zu. Die höchsten Gehalte in grünen Erbsen weisen jedoch die AS Glutaminsäure, Alanin und Asparagin auf [Periago

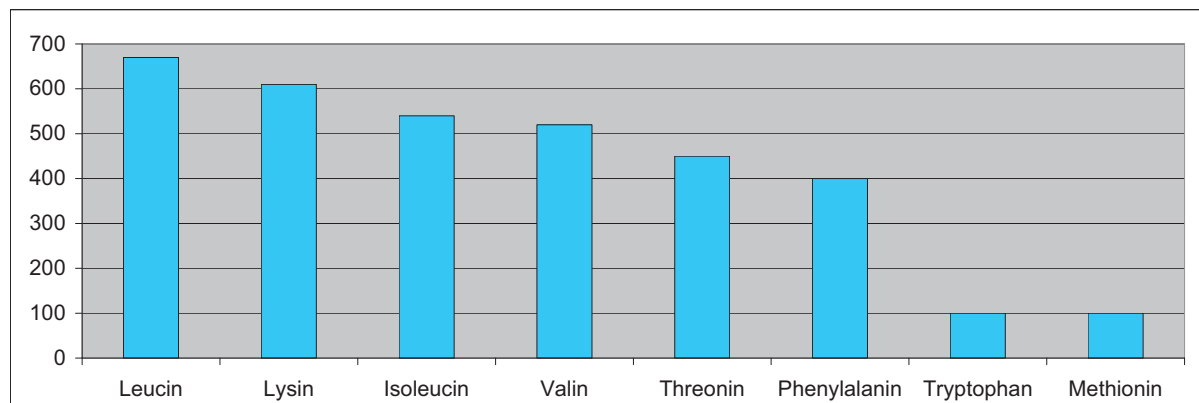


Abbildung 2.7: *Gehalte an essentiellen Aminosäuren in grünen Erbsen (mg/100g) [Souci et al., 2008].*

et al., 1996a]. Iqbal et al. [2006] untersuchten den Amino Acid Score von vier wichtigen Hülsenfrüchten und stellten fest, dass Tryptophan der limitierende Faktor bei Kuherbsen, Linsen und grünen Erbsen ist, im Gegensatz zu Kichererbsen, in denen S-haltige AS äußerst mangelhaft waren.

### 2.3.5 Antinutritive Inhaltsstoffe

Die Proteinqualität von grünen Erbsen ist nicht nur aufgrund der geringen Gehalte an S-haltigen AS niedrig, sondern auch wegen der antinutritiven Inhaltsstoffe, wie z.B. Proteaseinhibitoren. Enzyme, die für den Abbau von Protein verantwortlich sind, werden durch Proteaseinhibitoren gehemmt, wodurch die Verdaulichkeit verringert wird. Die Proteaseinhibitoren der Leguminosensamen hemmen in der Regel spezifisch Trypsin und  $\alpha$ -Chymotrypsin [Marquard, 1998]. In Sojabohnen sind mindestens fünf verschiedene Proteaseinhibitoren enthalten, die jeweils für eine bestimmte Serinprotease spezifisch sind (Trypsin, Chymotrypsin, Thromboplastin, Plasmin, Elastase) [Watzl und Leitzmann, 1995]. Morrison et al. [2007] ermittelten 6–10 Trypsininhibitoren in grünen Erbsen, wobei Markerbsen geringere Gehalte aufwiesen als Palerbsen. Die Kombination aus Wässern und Kochen ist eine effektive Methode um Trypsininhibitoren zu reduzieren. Je höher der Gehalt in rohen Samen ist, desto größer ist die Inaktivierung nach der Hitzebehandlung.

Ein weiterer antinutritiver Faktor ist die Phytinsäure, welche besonders die Bioverfügbarkeit der Mineralstoffe beeinträchtigen kann, da sie mit polyvalenten Kationen wie Kupfer, Zink, Kobalt, Magnesium, Eisen oder Calcium unlösliche Komplexe bilden kann. Außerdem ist Phytinsäure die am meisten Phosphor-enthaltende Komponente in Hülsenfrüchten, welches jedoch nicht bioverfügbar ist, da Phytinsäure vom Menschen nicht verdaut werden kann. Außerdem kann Phytinsäure Phytat-Protein-Komplexe bilden, die ebenfalls die Protein-Bioverfügbarkeit herabsetzen [Periago et al., 1996a].

Des Weiteren sind hochmolekulare Glycoproteine, so genannte Lectine, in Samen der Leguminosen weit verbreitet und erreichen Konzentrationen bis zu 10% des lösli-



chen Proteins. Lectine besitzen die Fähigkeit sich an Erythrozyten anzuheften und diese zu koagulieren. Während Lectine aus Sojabohne und Phaseolus–Bohne toxisch wirken, lassen Erbsenlectine offenbar keine toxischen Eigenschaften im Zusammenhang mit der Hämagglutininaktivität erkennen [Marquard, 1998].

In manchen Hülsenfrüchten finden sich auch Cyanogene Glucoside, welche aufgrund der abspaltbaren Blausäure besonders giftig sind. In einigen Samen kommt das Glucosid Linamarin vor, welches durch ein zelleigenes Enzym in Glucose, Aceton und Blausäure (HCN) gespalten wird. Blausäuregehalte im toxischen Bereich können aus der Limabohne (*Phaseolus lunatus*) freigesetzt werden, während die übrigen Kulturleguminosen nur geringe Gehalte aufweisen wie z.B. die Erbse mit 2.3 mg HCN/100 g [Marquard, 1998].

Alonso et al. [2000] untersuchten die Auswirkungen einer Heißextrusion auf die Nährstoffbestandteile von grünen Erbsen. Die Ergebnisse zeigen, dass durch dieses Verfahren einerseits die Protein- und Stärkeverdaulichkeit bedeutend erhöht wird und andererseits die antinutritiven Faktoren wie Proteaseinhibitoren und Lectine stark reduziert werden.

## 2.4 Vitamin C

### 2.4.1 Allgemein

Unter dem Begriff Vitamin C werden alle Verbindungen, die qualitativ die biologische und physiologische Wirkung der Ascorbinsäure ausüben können, zusammengefasst. Dazu gehören vor allem die L–Ascorbinsäure (L–AA) und deren oxidierte Form, die Dehydro–L–Ascorbinsäure (DHAA) (Abb. 2.8) [Elmadfa und Leitzmann, 2004].

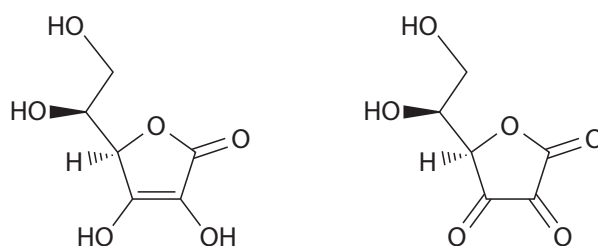


Abbildung 2.8: Strukturformeln. Links: L–Ascorbinsäure. Rechts: L–Dehydroascorbinsäure.

Für die Bestimmung von Vitamin C gibt es folgende Methoden:

- photometrische Verfahren (mit 2,6–Dichlorindophenol oder Dinitrophenylhydrazin), wobei hier aber nur L–AA gemessen wird
- HPLC–Verfahren, bei dem beide Ascorbinsäureformen bestimmt werden können
- Enzymatische Verfahren (Ascorbat–Oxidase)

### 2.4.2 Chemie

Chemisch zählt Vitamin C zur Stoffklasse der Kohlenhydrate (Summenformel  $C_6H_8O_6$ ). Die exakte Bezeichnung von Ascorbinsäure nach der IUPAC-Nomenklatur (IUPAC, International Union of Pure and Applied Chemistry) lautet (R)-5-[(S)-1,2-Dihydroxyethyl]-3,4-dihydroxy-5H-furan-2-on.

Ascorbinsäure ist ein Einfachzucker in Form eines 2,3-Didehydro-L-Threo-hexano-1,4-Lacton. Die Bildung des Lactons erfolgt über D-Glucuronsäure, welche zu L-Gulonsäure reduziert wird. Aus der L-Gulonsäure entsteht durch eine intramolekulare Esterbildung das L-Gulono-1,4-Lacton, welches durch die L-Gulono-Lacton-Oxidase zu 2-Keto-L-Gulonlacton oxidiert wird. Das Lacton tautomerisiert zur Ascorbinsäure (2,3-Endiol-L-Gulonsäure-Lacton) [Hanck und Weber, 1997]. Da dieses Enzym in der Stoffwechselkette bei Menschen, Primaten und Meerschweinchen fehlt, erfolgt keine Ascorbinsäuresynthese. Vitamin C muss daher mit der Nahrung zugeführt werden.

Ascorbinsäure besitzt zwei asymmetrische Kohlenstoffatome (C4 und C5) und kann in vier verschiedenen stereoisomeren Formen vorliegen (Abb. 2.9). Die höchste biologische Wirksamkeit weist L-Ascorbinsäure auf, D-Isoascorbinsäure zeigt eine geringe biologische Wirksamkeit und D-Ascorbinsäure sowie L-Isoascorbinsäure sind biologisch inaktiv [Bässler et al., 2002].

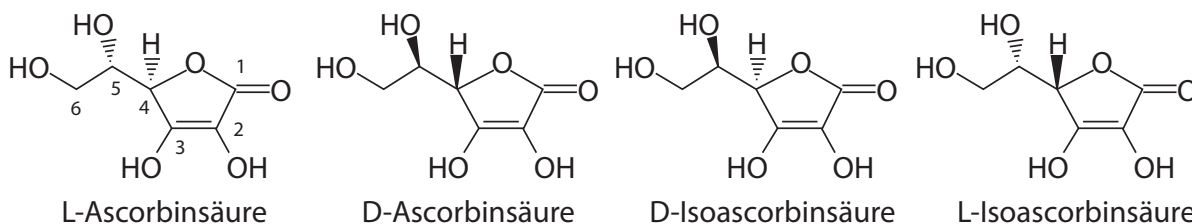


Abbildung 2.9: Strukturformeln. L-Ascorbinsäure und ihre stereoisomeren Formen.

Das chemische Verhalten der Ascorbinsäure basiert auf der Lactonstruktur, den zwei enolischen Hydroxylgruppen und den beiden Alkoholgruppen. In wässrigen Lösungen reagiert Ascorbinsäure aufgrund der Dissoziation der Endiol-Struktur als zweibasige Säure. Die zwei enolischen Hydroxylgruppen bedingen die reduzierenden Eigenschaften der Ascorbinsäure, da beide durch Oxidation in eine Diketogruppe umgewandelt werden können [Bässler et al., 2002].

Ascorbinsäure (Molekulargewicht: 176.13 g/mol) ist eine weiße, geruchlose, kristalline Substanz mit einem Schmelzpunkt bei 190°C. Die Löslichkeit in Wasser ist gut, jedoch löst sie sich nicht in apolaren Lösungsmitteln (Chloroform oder Ether) oder nur sehr gering (Alkohol oder Glycerin) [Hanck und Weber, 1997]. Im trockenen Zustand und in sauren wässrigen Lösungen ( $pH < 6$ ) ist Ascorbinsäure stabil. Allerdings wird sie in wässrigen Lösungen bei Anwesenheit von Sauerstoff oder Metallionen (speziell  $Cu^{2+}$ ,  $Ag^+$  und  $Fe^{3+}$ ) oder im alkalischen Medium sowie bei Hitze besonders leicht oxidiert [Bässler et al., 2002].

Die Oxidation von L-Ascorbinsäure zu L-Dehydroascorbinsäure (DHAA) verläuft über die Bildung der Semidehydroascorbinsäure (Ascorbylradikal). Diese drei chemischen

Formen von Vitamin C stellen ein reversibles Redoxsystem dar, da der Oxidationsschritt wieder umkehrbar ist. Der Organismus kann die oxidierte Form (DHAA) mittels Dehydroascorbatreduktase und reduziertem Glutathion (GSH) wieder in L-AA umwandeln [Elmadfa und Leitzmann, 2004]. In Pflanzen wird die Ascorbinsäure durch Chlorophyll vor der Oxidation geschützt [Hanck und Weber, 1997].

Im Vergleich zu Ascorbinsäure ist Dehydroascorbinsäure eine chemisch instabile Substanz. Durch starke Oxidation wird der Lactonring der DHAA gespalten und es entsteht die 2,3-Diketo-Gulonsäure, die jedoch keine Vitamin C Aktivität aufweist und somit nicht wieder zu L-Ascorbinsäure umgewandelt werden kann. Die Aufspaltung der Ringstruktur kann unter dem katalytischen Einfluss von Hydrogencarbonat, welches z.B. als Puffersubstanz im Blutplasma enthalten ist, auch bei physiologischen Temperaturen in wenigen Minuten erfolgen. 2,3-Diketo-Gulonsäure kann durch Decarboxylierung zu Furfural umgewandelt werden, welches die Ursache für das Entstehen von braunen Pigmenten in Lebensmitteln ist [Ebermann und Elmadfa, 2008].

Dehydroascorbinsäure bildet in kristalliner Form Dimere und in wässriger Form liegt sie als bitykisches Monomer vor. DHAA besitzt einen relativ hydrophoben Charakter, weshalb sie in schwach saurem und neutralem Milieu nicht ionisiert. Dieser Umstand ermöglicht es der DHAA die Lipidmembranen z.B. von Erythrozyten und des Hirngewebes viel besser zu durchdringen als Ascorbinsäure [Friedrich, 1987].

Die DHAA besitzt die gleiche Antiskorbut Eigenschaft wie die L-AA. Obwohl DHAA in pflanzlichen Geweben vorkommt, wird kontrovers diskutiert, ob DHAA eine physiologische Rolle im Pflanzenstoffwechsel spielt [Deutsch, 2000].

LAA und DHAA besitzen unterschiedliche Effekte auf Zellfunktionen, die unter Bedingungen des oxidativen Stress deutlich werden (Tabelle 2.1) [Wilson, 2002].

Tabelle 2.1: *Die Rolle von LAA und DHAA in Säugetierzellen unter Bedingungen des oxidativen Stresses [Wilson, 2002]*

LAA	DHAA
Unterbricht Radikalkettenreaktionen, indem es reaktive Sauerstoff- und Nitrogenarten abfängt	Kompetitive Hemmung des erleichterten Glucose-Transporters, der Hexokinase, der Glyceraldehyd-3-Phosphat- und Glukose-6-Phosphat-Dehydrogenase
Erhöht die Synthese von Kollagen, Carnitin, Katecholaminen, Peptidhormonen	Oxidiert NADPH und Glutathion
Schützt Glutathion und $\alpha$ -Tocopherol vor Oxidation oder macht diese rückgängig	Stimuliert die Synthese von NADPH und Glutathion
Übertragung von Elektronen durch membrangebundene Oxidoreduktasen auf extrazelluläre Akzeptorzellen	Erhöht die L-AA Konzentration metabolisch aktivierter Zellen
Erhöht das Überleben von Zellen	Tötet empfindliche Zellen (z.B. Neurone)

### 2.4.3 Vorkommen

Vitamin C ist in der Natur weit verbreitet, da sowohl pflanzliche als auch tierische Organismen zur Eigensynthese von Ascorbinsäure aus Glucose befähigt sind. Aufgrund einer Genmutation für das letzte Enzym der Vitamin C Synthese, die L-Gulono-Lacton-Oxidase, können Menschen und andere Primaten, Meerschweinchen und einige Vogelarten sowie Fledermäuse keine Ascorbinsäure bilden und müssen ihren Bedarf über die Nahrung decken. Die bedeutendsten pflanzlichen Vitamin C-Quellen sind Früchte und Gemüse und daraus hergestellte Säfte. Besonders reich an Vitamin C sind Acerolakirschen, Hagebutten, Sanddornbeeren, schwarze Johannisbeeren, Paprika, Erdbeeren und Zitrusfrüchte (Tabelle 2.2). Obwohl die Kartoffel im Vergleich zu anderen Gemüsesorten geringe Mengen an Vitamin C enthält, trägt sie dennoch aufgrund der hohen Verzehrsmengen in der Bevölkerung wesentlich zur Vitamin C Versorgung bei.

Die Vitamin C Gehalte in tierischen Lebensmitteln sind erheblich geringer als in pflanzlichen. Die höchsten Konzentrationen findet man in Leber und Nieren, die geringsten in Muskelfleisch.

Tabelle 2.2: *Ascorbinsäure-Gehalte ausgewählter Lebensmittel [Elmadfa und Leitzmann, 2004; Biesalski et al., 2004]*

Lebensmittel		mg/100 g
Obst	Acerola, roh	1500
	Hagebutten, roh	1250
	Sanddornbeeren, roh	450
	Schwarze Johannisbeeren	177
	Erdbeeren, roh	62
	Orange, roh	50
Tierische Lebensmittel	Kalbsleber	35
	Kuhmilch, 3.5% Fett	1
Gemüse	Petersilienblatt, roh	166
	Paprika, roh	120
	Broccoli, roh	115
	Grünkohl	105
	Karfiol, roh	69
	Erbsen, roh	25
	Tomate, roh	25
	Kartoffel, roh	17
	Karotte, roh	7

#### 2.4.4 Bioverfügbarkeit

Der Vitamin C Gehalt von Obst und Gemüse wird von etlichen Faktoren beeinflusst, wie genotypische Unterschiede, geografische Herkunft, klimatische Bedingungen, Anbaumethode, Reifegrad, Erntemethoden und Lagerung sowie thermische Prozesse der industriellen Produktion [Lee und Kader, 2000].

Besonders oxidationsempfindlich ist Ascorbinsäure im alkalischen Medium, bei Hitze, Licht und bei Anwesenheit von Metallionen. In kalter, saurer Lösung ist sie jedoch relativ stabil. Oxidationsverluste während eines Erhitzungsprozesses sind unvermeidbar, da selbst bei schonender Zubereitung etwa 30% verloren gehen. Ebenso treten beim längeren Warmhalten von Gemüse hohe Verluste auf [Elmadfa und Leitzmann, 2004]. Die Lagerdauer und die Lagerungsbedingungen haben ebenfalls einen großen Einfluss auf den Vitamin C Gehalt in Obst und Gemüse.

Der Prozess der Inaktivierung von Ascorbinsäure wird durch eine lagerungsbedingte Einwirkung von Luftsauerstoff sowie durch Wärme und Katalysatoren (z.B. Eisen) wesentlich begünstigt. Prinzipiell treten geringere Verluste auf, je kompakter und saurer das Lebensmittel und je kälter und feuchter die Umgebung ist [Biesalski und Grimm, 2007].

Glucose kann die Absorption von L-AA aufgrund der strukturellen Ähnlichkeiten hemmen, da beide um das Glucose Transportprotein 4 (GLUT 4) konkurrieren [Ebermann und Elmadfa, 2008]. Der Einfluss von Glucose auf die DHAA-Aufnahme variiert zwischen den Zelltypen. Einige Zellen werden durch physiologische Glucose Konzentrationen gehemmt, wie z.B. Adipozyten, Erythrozyten, Granulosazellen, Neutrophile, Osteoblasten und glatte Muskelzellen. Hingegen bleibt die Absorption über die Zellmembran von Enterozyten und Tubuluszellen unbeeinflusst [Wilson, 2005]. Die Aufnahme von DHAA erfolgt über einen erleichterten Transport mittels der Glucose Transporter GLUT 1, GLUT 3 und GLUT 4. Substanzen, welche die Aktivität dieser Transporter erhöhen, wie z.B. Insulin, steigern auch die DHAA-Aufnahmerate [Wilson, 2002]. Die DHAA-Absorption wird zwar von einigen Monosacchariden gehemmt, jedoch nicht von L-AA [Deutsch, 2000].

Mangels et al. [1993a] untersuchten die Bioverfügbarkeit von Vitamin C aus natürlichen Quellen (Orangen, Orangensaft, gekochtem Broccoli) sowie aus synthetischen Quellen (Vitamin tabletten), jedoch wurden keine signifikanten Unterschiede beobachtet.

Die Bioverfügbarkeit kann durch Desoxycorticosteron, D-Glucoascorbinsäure und anderen Medikamenten wie orale Kontrazeptiva und Sulfonamide vermindert werden. Die Kontrazeptiva bewirken im Blutplasma eine Erhöhung der Caeruloplasmin Konzentration (kupferhaltiges Enzym), wodurch es zu einer verstärkten Oxidation von Ascorbinsäure kommt und der Ascorbinsäure Plasmaspiegel gesenkt wird. Sulfonamide bewirken eine gesteigerte Vitamin C Ausscheidung über den Harn [Elmadfa und Leitzmann, 2004]. Corticosteroide führen zu einer erhöhten Oxidation von Vitamin C, Calcitonin führt zu einem erhöhten Verbrauch. Salicylate blockieren den aktiven Transport durch die Darmwand und Tetrazyklin hemmt den intrazellulären Stoffwechsel und die tubuläre Rückresorption. Aspirin, Barbiturate und Tetrazykline steigern die Ausscheidung von Vitamin C im Harn [Biesalski et al., 2004].

### 2.4.5 Metabolismus

Bei oraler Aufnahme von Ascorbinsäure erfolgt die Resorption bereits durch die Mundschleimhaut, anscheinend durch einen trägergebundenen, nicht aktiven Prozess, der eine hohe Transportkapazität aufweist [Hanck und Weber, 1997]. Hauptsächlich wird sie jedoch im Duodenum und proximalen Jejunum aufgenommen. Die Resorption erfolgt bei Primaten und Meerschweinchen über einen aktiven Transport mittels Carrier, welcher natrium-, pH-, konzentrations- und energieabhängig ist und einer Sättigungskinetik folgt. Geringe L-AA Konzentrationen werden aktiv, höhere Konzentrationen werden passiv durch Diffusion absorbiert [Elmadfa und Leitzmann, 2004; DACH, 2000]. Der aktive Transport von L-AA erfolgt mittels der beiden natriumabhängigen Vitamin C Transporter SVCT1 und SVCT2 (Sodium-dependent Vitamin C Transporter), die eine höhere Affinität zu Ascorbat als GLUT für DHAA besitzen. Die Verteilung und Aufgaben der beiden Transporter sind verschieden (Tabelle 2.3). SVCT1 hat eine größere Transport Kapazität und ist überwiegend in den Endothelzellen, besonders im Darm, in der Niere und Leber lokalisiert. SVCT2 findet man in spezialisierten stoffwechselaktiven Zellen (Gehirn, Auge, Plazenta) und ist somit für die Aufrechterhaltung des intrazellulären Vitamin C Levels wichtig, welcher für die neuronale Funktion und als Schutz vor oxidativem Stress lebensnotwendig ist [Li und Schellhorn, 2007].

Tabelle 2.3: *Transportmechanismen für Vitamin C [Li und Schellhorn, 2007]*

	<b>Verteilung</b>	<b>Regelung</b>
GLUT1	Osteoblasten, Muskelzellen	Glucose: Kompetitive Hemmung. Insulin: stimuliert Transport.
GLUT3	Retinazellen	
GLUT4		
SVCT1	Darm-, Nieren- und Leberepithelzellen	Ascorbat: Substrat-Rückkoppelung hemmt Expression von SVCT
SVCT2	Gehirn, Retina- und Plazentazellen	

Die Aufnahme von DHAA in die Zelle erfolgt mittels natriumunabhängigen Hexose-Transportern [Deutsch, 2000], wobei sie anschließend intrazellulär meist durch eine Thioltransferase (Glutaredoxin) zu L-AA reduziert wird [DACH, 2000]. Aus der Familie der Glucose-Transporter sind GLUT 1 und GLUT 3 die Haupt-Transporter, welche überwiegend in Osteoblasten, Muskeln und Retina Zellen vorkommen. Ein weiterer DHAA-Transporter ist GLUT 4, dessen Expression in den Zellen durch Insulin stimuliert wird [Li und Schellhorn, 2007]. Als Folge der DHAA Aufnahme in die Zelle und anschließender Reduzierung zu L-AA, kann die intrazelluläre L-AA Konzentration auf das 30-fache ansteigen, wie z.B. in neutrophilen Granulozyten [Konya und Ferdinandy, 2006].

Normalerweise steigert Insulin die erleichterte DHAA-Aufnahme mittels Glucose-Transporter in Insulin sensitive Zellen und führt zu einer Erhöhung der intrazellulären L-AA Konzentration. Ein Mangel an Insulin, wie bei Diabetes Typ 1, mindert diese Form der DHAA-Aufnahme. Eine verzögerte DHAA-Absorption kann jedoch zu einer beeinträchtigten Regeneration von L-AA und damit zu einer Abschwächung der anti-

oxidativen Abwehr bei Diabetes führen, besonders in Gegenwart einer Hyperglykämie [Wilson, 2002].

Die Absorption von Vitamin C ist dosisabhängig begrenzt, denn je höher die Zufuhr, umso geringer die Aufnahmemenge. Werden bei einer physiologischen Aufnahmemenge von 180 mg Vitamin C/Tag noch 80–90% vom Nichtraucher und 60–80% vom Raucher absorbiert, so sind es bei einer Zufuhr von 1 bis 1.5 g nur mehr 50% und bei 12 g lediglich 16%, die aufgenommen werden [Elmadfa und Leitzmann, 2004; Biesalski et al., 2004]. Der nichtresorbierte Anteil wird von der Dickdarmflora überwiegend zu CO<sub>2</sub> und organischen Säuren abgebaut. Bei funktionellen Störungen im Jejunum und Duodenum ist die Resorption gestört [Bässler et al., 2002].

Vitamin C wird im Blut vor allem als freie Ascorbinsäure, in ihrer reduzierten Form als Monoanion, transportiert. Der Gehalt im Blutplasma schwankt beim gesunden Menschen zwischen 4 bis 15 mg/L [Elmadfa und Leitzmann, 2004], wobei 1/4 davon protein-gebunden vorliegt. Eine optimale Plasmakonzentration wird bei etwa 1 mg/L vermutet, da bereits bei ca. 0.2 mg/L die klassischen Mangelerscheinungen auftreten [Biesalski und Grimm, 2007]. Maximal 10% des gesamten Vitamin C Gehaltes liegen im menschlichen Blut als DHAA vor, was auf das Glutathion (GSH) und andere SH-Verbindungen zurückzuführen ist [Friedrich, 1987].

Ascorbinsäure ist im menschlichen Körper unterschiedlich stark verteilt, wobei aber Vitamin C in fast jedem Gewebe in gewissen Konzentrationen vorhanden ist. Sehr hohe Konzentrationen finden sich in Hypophyse, Gehirn, Nebenniere, Augenlinse (Tränenflüssigkeit), Leber, Pankreas, Milz, Leukozyten und Lymphozyten. Der Gesamtkörperbestand wird bei vollständiger Sättigung auf 1500 mg (max. 5 g) geschätzt, wobei davon ca. 4% täglich verloren gehen [Elmadfa und Leitzmann, 2004]. Die maximale metabolische Turnoverrate beträgt beim gesunden Menschen 40–80 mg/Tag [Bässler et al., 2002].

Bei einer normal hohen Vitamin C Zufuhr wird nur ein geringer Anteil zu Kohlendioxid abgebaut. Der Abbau erfolgt primär durch Oxidation zu DHAA, Oxalsäure, L-Threonsäure, L-Xylose und Ascorbinsäure-2-Sulfat. Die Ausscheidung von Vitamin C erfolgt hauptsächlich renal über den Urin als L-AA (10–20%), DHAA (ca. 20%), Dioxogulonsäure (ca. 20%) und Oxalsäure (ca. 40%), sowie in geringen Mengen als Ascorbinsäure-2-Sulfat. Bei Zufuhr physiologisch hoher Dosen (> 3 g) werden größere Anteile mit den Fäzes ausgeschieden. Bei einer vollständigen Gewebesättigung liegt der renale Schwellenwert bei einer Plasmakonzentration von 1.2–1.8 mg/dl. Wird diese Konzentration überschritten, findet in den proximalen Tubuli keine Rückresorption statt und die überschüssige Ascorbinsäure wird über den Harn eliminiert [Elmadfa und Leitzmann, 2004; Bässler et al., 2002; Friedrich, 1987].

MacDonald et al. [2002] untersuchten die Wirkung von hohen Vitamin C Dosen auf den Vitamin C Transporter SVCT1, da Vitamin C Supplemente immer gebräuchlicher werden und zu außerordentlich hohen Nährstoffkonzentrationen, zusätzlich zur normalen Nahrungsaufnahme, führen. Die Studie zeigte einerseits, dass Vitamin C Konzentrationen im Intestinallumen die Expression des spezifischen Vitamin C Transporters SVCT1 regulieren und andererseits, dass einzelne hohe Vitamin C Dosen, anstatt einer Rückspeicherung oder Aufrechterhaltung des Vitamin C Körperpools, eher eine schädliche Wirkung auf die Expression der Transporter haben.

### 2.4.6 Physiologische Funktionen

Die biochemische Funktion von Ascorbinsäure basiert auf der Eigenschaft als starkes Reduktionsmittel zu wirken, indem es in einer reversiblen Reaktion Wasserstoff oder Elektronen abgeben kann. L-AA bildet mit DHAA ein Redoxsystem, mit der reaktionsfreudigen Semidehydroascorbinsäure als Zwischenstufe. Diese entsteht entweder durch Abgabe eines Elektrons aus L-AA oder durch Aufnahme eines Elektrons aus DHAA. Die oxidierte Form (DHAA) kann durch eine Reduktase, an der andere Redoxsysteme wie z.B. Glutathion (GSH) oder Tocopherol beteiligt sind, wieder in L-AA umgewandelt werden [Hanck und Weber, 1997].

#### 2.4.6.1 Antioxidative Wirkung

Vitamin C gilt als wichtigstes exogenes, wasserlösliches Antioxidans der extrazellulären Flüssigkeit, wirkt aber auch auf intrazellulärer Ebene antioxidativ. Da es als Radikalfänger mit reaktiven Sauerstoffverbindungen (Singulett-Sauerstoff, Superoxid, Hydroxylradikal) sowie Wasserstoffperoxid, Hypochlorsäure, Stickstoffdioxid und weiteren Substanzen reagiert, werden Lipide, Proteine, Enzyme und DNA vor oxidativen Schädigungen geschützt [Elmadfa und Leitzmann, 2004; Carr und Frei, 1999].

Ascorbinsäure kann als Antioxidans und auch als Prooxidans wirken. Als Reduktionsmittel ist L-AA in der Lage Metalle wie Eisen und Kupfer zu reduzieren und somit deren prooxidative Wirkung zu erhöhen. Im Allgemeinen wirkt Ascorbinsäure bei niedrigen Konzentrationen prooxidativ und bei hohen Konzentrationen antioxidativ [Mandl et al., 2009].

Ein Ungleichgewicht zwischen Prooxidantien und Antioxidantien führt zu Veränderungen biologisch wichtiger Moleküle und zu zellulärem oxidativem Stress, welcher eine bedeutende Rolle in der Pathogenese verschiedener Krankheiten spielt. Dazu zählen u.a. Hypertonie, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Krebs, altersabhängige Degeneration der Macula lutea oder Katarakt (grauer Star) [Sies, 1997; Chen et al., 2001].

Reaktive Sauerstoff- und Stickstoffspezies spielen bei der Entwicklung von Krebs eine Schlüsselrolle, da es immer mehr Beweise gibt, dass Antioxidantien die Entstehung von Krebs möglicherweise verhindern oder verzögern können [Wiseman und Halliwell, 1996].

Eine Supplementierung von Vitamin C in Kombination mit anderen antioxidativen Vitaminen und Mineralstoffen führte zu einer Verlangsamung des fortgeschrittenen Prozesses der altersabhängigen Maculadegeneration. Ebenso verringerte sich die Verlustgeschwindigkeit der Sehschärfe bei Personen, die bereits Anzeichen dieser Krankheit aufwiesen [Evans, 2008].

#### 2.4.6.2 Funktion als Cofaktor von Enzymen, Hydroxylierungsreaktionen

Ascorbinsäure ist an dem Elektronentransfer bei Hydroxylierungsreaktionen beteiligt und damit Cofaktor für zahlreiche Enzyme, die für die Bildung von wichtigen Substanzen im Körper verantwortlich sind, z.B. Kollagensynthese als Bestandteil von Binde- und



Stützgewebe, Carnitinsynthese als bedeutender Faktor im Fettstoffwechsel, Biosynthese von Hormonen und Neurotransmittern (Tabelle 2.4) [Biesalski und Grimm, 2007].

Tabelle 2.4: *Intrazelluläre Funktion der Ascorbinsäure als Cofaktor von Enzymen* [Elmadfa und Leitzmann, 2004; Levine et al., 1996]

Enzym	Funktion	
Prolin-Hydroxylase	Hydroxylierung von Prolin bei der Kollagensynthese	Kollagen ist Baustoff von Binde- und Stützgewebe (Haut, Knochen, Zähne, Blutgefäße). Ein Vitamin C Mangel führt zu verminderter Neubildung von Kollagen (Skorbut)
Lysin-Hydroxylase	Hydroxylierung von Lysin bei der Kollagensynthese	
Prokollagen-Prolin-2-Oxoglutarat-4-Dioxygenase	Hydroxylierung von Prolin bei der Prokollagensynthese	
$\gamma$ -Butyrobetain-2-Oxoglutarat-4-Dioxygenase	Hydroxylierung einer Vorstufe bei der Carnitinsynthese	Carnitin ist Trägersubstanz beim Fettsäurestoffwechsel (mitochondrialer „Carrier“). Carnitinmangel führt zur Behinderung der $\beta$ -Oxidation
Trimethyllysin-2-Oxoglutarat-Dioxygenase	Hydroxylierung einer Vorstufe bei der Carnitinsynthese	
Dopamin- $\beta$ -Monooxygenase	Synthese von Dopamin zu Noradrenalin	Neurotransmitter
Peptidyl-Glycin- $\alpha$ -amidierende Monooxygenase	C-terminale Amidierung neuroendokriner Hormone	Durch Amidierung werden neuroendokrine Hormone aktiviert (z.B. CRH, TRH, Gastrin, Bombesin)
4-Hydroxyphenylpyruvat-Dioxygenase	Hydroxylierung/ Decarboxylierung beim Tyrosinstoffwechsel	Tyrosinstoffwechsel

Eine der wichtigsten biochemischen Funktionen von Ascorbinsäure sind die Hydroxylierungsreaktionen bei der Kollagensynthese. In Folge dessen kommt es zu einer strukturellen Stabilisierung von Kollagen, da die Ausbildung der Triplehelix und Quervernetzungen ermöglicht werden [Hanck und Weber, 1997]. Weiters ist Vitamin C an der Genexpression des Prokollagens beteiligt, sowie für die Prokollagensekretion aus den Fibroblasten verantwortlich. Dies begründet die Bedeutung von Ascorbinsäure für Wundheilungsprozesse und Narbenbildung sowie für die Bildung von Geweben wie Knochen, Knorpel, Haut, Gefäße und Zähnen [Elmadfa und Leitzmann, 2004].

Ascorbinsäure scheint auch Einfluss auf die Hydroxylierung von Steroiden zu haben. Ein für den Abbau von Cholesterol zu Gallensäure benötigtes Schlüsselenzym, die Cholesterol-7-hydroxylase, ist bei der Synthese auf eine Hydroxylierungsreaktion

von L-AA angewiesen. Eine weitere Vitamin C abhängige Hydroxylierungsreaktion ist die Glucocorticoidsynthese in der Nebenniere, da es bei Ascorbinsäuremangel zu einer reduzierten Stressantwort kommt. Ebenfalls ascorbinsäureabhängig ist die Umwandlung von Folsäure in Tetrahydrofolsäure. Die Hydroxylierung von Tryptophan zu 5-Hydroxytryptophan, der Vorstufe des Serotonins, benötigt DHAA [Biesalski et al., 2004].

Ascorbinsäure spielt als Cofaktor eine weitere wichtige Rolle bei mikrosomalen Hydroxylierungsreaktionen, die für die Inaktivierung und den Abbau vieler toxischer Substanzen und Gifte notwendig ist. Die Wasserlöslichkeit von lipophilen Substanzen wird durch Hydroxylierungen oder Demethylierungen erhöht und können somit leichter über die Niere ausgeschieden werden. An diesen Entgiftungsreaktionen ist ein Cytochrom-P-450-mischfunktionales-Oxygenase-Elektronentransport-System beteiligt. Ascorbinsäure stimuliert einerseits die Synthese von Cytochrom P-450 und schützt andererseits vor einer Inaktivierung durch Sauerstoffradikale. Im Übrigen verhindert Ascorbinsäure die Bildung hepatotoxischer und karzinogener Nitrosamine aus Nitrit und sekundären Aminen, die über die Nahrung aufgenommen werden oder im Verdauungstrakt entstehen können [Elmadfa und Leitzmann, 2004; Biesalski et al., 2004; Bässler et al., 2002].

### 2.4.6.3 Vitamin C und Eisen

Ascorbinsäure bewirkt eine Steigerung der enteralen Eisenresorption aus pflanzlichen Quellen aufgrund von drei Mechanismen:

- Reduktion von  $\text{Fe}^{3+}$  zu  $\text{Fe}^{2+}$ , welches besser resorbierbar ist
- Bildung von leicht absorbierbaren  $\text{Fe}^{3+}$ -Ascorbinsäurechelaten
- Verhinderung der Bildung unlöslicher, nicht resorbierbarer Eisenverbindungen, z.B. mit Tanninen oder Phytinsäure

Um eine erhöhte Resorption des Nicht-Häm-Eisens zu erreichen, sollten 25–75 mg Vitamin C während der Mahlzeit aufgenommen werden.

Außerdem besitzt Ascorbinsäure eine stabilisierende Wirkung im Eisenstoffwechsel, da sie als intrazellulärer Elektronendonator bei der Übertragung des Eisens von Transferrin auf das Eisenspeicherprotein Ferritin mitwirkt. In Folge dessen wird die Stabilität des Ferritins erhöht und seine Phagozytose in die Lysosomen verhindert, in denen es zu Hämosiderin umgewandelt werden würde und dessen Eisen nur schwer zugänglich wäre [Elmadfa und Leitzmann, 2004; Bässler et al., 2002].

### 2.4.6.4 Vitamin C und das Immunsystem

Vitamin C scheint sowohl präventive als auch therapeutische Wirkungen auf das Immunsystem zu besitzen, da es als Immunmodulator die zelluläre und humorale Immunität beeinflusst. Ascorbinsäure schützt die Phagozytenmembran vor der Selbstzerstörung durch reaktive Sauerstoffspezies, welche bei der Phagozytose („respiratory burst“) gebildet werden um phagozytierende Zellen zu zerstören.

Vitamin C soll Einfluss an der Aktivierung neutrophiler Granulozyten und Zytokinen, Chemotaxis und Lymphozytenproliferation haben, sowie zu einer Erhöhung der Antikörper-, Komplement- und Interferonproduktion führen [Elmadfa und Leitzmann, 2004]. Bei einem Mangel an Ascorbinsäure kann es zu einer verminderten chemotaktischen Antwort kommen [Bässler et al., 2002].

#### **2.4.6.5 Bedarf und Empfehlung**

Die Empfehlungen (Tabelle 2.5) für die Zufuhr von Vitamin C werden kontrovers diskutiert, da die optimale Zufuhrmenge nicht der Menge zur Vermeidung eines Mangels entspricht.

Die Grundlage einer Zufuhrempfehlung ist die Vermeidung klinischer und vorklinischer Mangelsymptome, da eine ausreichende Vitamin C Zufuhr für eine Aufrechterhaltung des Körperpools notwendig ist und um einen präventiven und langfristigen Gesundheitsschutz gewährleisten zu können [Biesalski und Grimm, 2007; DACH, 2000]. Für die Beurteilung des Vitamin C Status dient einerseits der Plasma/Serum Vitamin C Spiegel, bei dem Werte von 0.5–1.5 mg/dl als normal gelten und einem Körperpool von 500–1500 mg entsprechen. Eine ausreichende Versorgung ist auch noch mit einem Plasmaspiegel von  $>0.4$  mg/dl ( $>600$  mg Körperpool) gewährleistet. Bei Werten von 0.2–0.4 mg/dl (300–600 mg Körperpool) ist der Status bereits niedrig und mit Werten  $<0.2$  mg/dl ( $<300$  mg Körperpool) wird die Versorgung als mangelhaft betrachtet. Andererseits wird auch der Leukozyten Vitamin C Spiegel für die Diagnostik herangezogen, da dieser aufgrund der geringeren Schwankungen zuverlässiger ist [Elmadfa und Leitzmann, 2004; Suter, 2005]. Bei einem Körpervorrat von ca. 1500 mg beträgt der metabolische Turnover ca. 50 mg/Tag, wodurch es bei einer ascorbinsäurefreien Ernährung ungefähr 3 Wochen dauert, ehe klinische Mangelsymptome aufgrund der Körperreserven von  $<300$  mg auftreten [DACH, 2000].

Um individuelle Bedarfsunterschiede berücksichtigen zu können wurde bei der Berechnung des Vitamin C Bedarfs ein Variationskoeffizient von 10% angenommen. Der durchschnittliche Bedarf für nicht rauchende Erwachsene wurde mit 83 mg/Tag festgelegt und zuzüglich des Variationskoeffizienten die Empfehlung von 100 mg/Tag formuliert. Für Raucher gilt eine Empfehlung von 150 mg/Tag, da sie eine um 10% geringere Absorption und gleichzeitig eine 40% höhere Umsatzrate aufweisen [Elmadfa und Leitzmann, 2004].

Während der Schwangerschaft wird ein Zuschlag von 10 mg/Tag empfohlen, um eine etwaige Minderung des Plasmaspiegels, aufgrund des Bedarfs des Fötus, zu vermeiden. Stillende Frauen haben aufgrund der Abgabe von ca. 4 mg Vitamin C/100 ml Muttermilch einen Mehrbedarf von 50 mg/Tag. Der Bedarf ist bei starker körperlicher Belastung, Stress, Alkohol- und Medikamentenabusus, Erkrankung und nach Operationen erhöht [Elmadfa und Leitzmann, 2004; DACH, 2000].

Der Tagesbedarf von 100 mg Vitamin C ist in 70 g Paprika, 80 g Broccoli oder Kohlsprossen, 100 g Fenchel oder in 400 g grünen Erbsen enthalten.

Tabelle 2.5: *Empfohlene Vitamin C Zufuhr [DACH, 2000]*

	Alter	Vitamin C [mg/Tag]
Säuglinge	0 bis < 4 Monate <sup>1</sup>	50
	4 bis < 12 Monate	55
Kinder	1 bis < 4 Jahre	60
	4 bis < 7 Jahre	70
	7 bis < 10 Jahre	80
	10 bis < 13 Jahre	90
	13 bis < 15 Jahre	100
	15 bis < 19 Jahre	100
Jugendliche und Erwachsene <sup>2</sup>	19 bis < 25 Jahre	100
	25 bis < 51 Jahre	100
	51 bis < 65 Jahre	100
	65 Jahre und älter	100
Schwangere	Ab dem 4. Monat	110
Stillende <sup>3</sup>		150

<sup>1</sup> Schätzwert<sup>2</sup> Raucher 150 mg/Tag<sup>3</sup> Beachtung der mit 750 ml Frauenmilch sezernierter Vitamin C Menge, 50 mg

#### 2.4.6.6 Mangel

Bei einem Vitamin C Mangel wird zwischen subklinischen Symptomen und klinisch manifesten Mangelzuständen, die beim Erwachsenen als Skorbut und beim Kind als Möller–Barlowsche–Erkrankung bezeichnet wird, unterschieden. Typische Symptome der Möller–Barlow–Krankheit sind Störungen der Knochenbildung, Auftreibung der Knorpel-Knochen Grenze, Epiphyseolyse, pathologische Knochenbrüche, subperiostale Hämatome, Wachstumsstörungen sowie Schmerzen bei Bewegungen und Belastungen [Bässler et al., 2002]. Die ersten unspezifischen Symptome von Skorbut äußern sich in verminderter Leistungsfähigkeit, Müdigkeit, Reizbarkeit, Gelenks- und Gliederschmerzen und erhöhter Infektanfälligkeit. Die Ursache für das Auftreten der Mangelercheinungen liegt in der verminderten Fähigkeit zur Kollagensynthese, welche sich auch in der mehrmonatigen Latenzzeit bis zum Ausbruch der Krankheit widerspiegelt. Da die Quervernetzungen zwischen den Ketten des Kollagenmoleküls bei Skorbut Erkrankten instabil sind, kommt es zu einer erhöhten Kapillarbrüchigkeit und folglich zu Blutungen (Hämorrhagien) in Haut, Schleimhaut, inneren Organen und Muskeln, in besonders schweren Fällen auch in der Retina und im Gehirn. Weitere Symptome sind Lockerung und Verlust von Zähnen, Gingivitis (Zahnfleischentzündung) und gestörte Wundheilung [Elmadfa und Leitzmann, 2004; Bässler et al., 2002].

Heutzutage kommt der klassische Vitamin C Mangel in industrialisierten Ländern nicht mehr vor. Dennoch führt eine unzureichende Versorgung zu subklinischen, allgemeinen Symptomen wie Leistungsschwäche, Müdigkeit, verlangsamte Erholung nach Krankheiten, Hautveränderungen, Infektanfälligkeit und verschlechterte Wundheilung. Mit der Aufnahme von 10 mg/Tag können klinische Mangelsymptome verhindert werden [Bässler et al., 2002].

#### 2.4.6.7 Hypervitaminose

Eine Vitamin C Hypervitaminose ist selten, da Vitamin C eine große Toleranzgrenze besitzt. Die Aufnahme von 2 g Vitamin C pro Tag und mehr (25-fache Menge der Empfehlung) über eine längere Zeit führt bei gesunden Personen zu keinerlei toxischer Auswirkung. Solange die Zufuhr ausschließlich über die Nahrung erfolgt, auch von extrem hohen Dosen, sind keine gesundheitlichen Schäden zu befürchten. Jedoch konnten bei der Einnahme von hochdosierten Präparaten Übelkeit, Durchfall, Blähungen und Magenkrämpfe beobachtet werden. Das Risiko einer Oxalat- und Nierensteinbildung bei exzessiver Vitamin C-Aufnahme ist, wenn überhaupt, für Personen mit einer positiven Anamnese für Oxalatsteine von Bedeutung. Vitamin C wird unter anderem zu Oxalsäure abgebaut, jedoch ist diese Menge unabhängig von der Höhe der Ascorbinsäurezufuhr begrenzt. Ob Ascorbinsäure bei Personen mit Hämochromatose-Neigung zu einer erhöhten Eisenabsorption führt ist noch unklar, bei gesunden Personen ist dies aber auszuschließen. Um mögliche Folgen einer überhöhten Vitamin C Zufuhr zu vermeiden wurde eine Toleranzgrenze (Tolerable Upper Intake Level) von 2 g/Tag für Erwachsene festgelegt [Elmadfa und Leitzmann, 2004; Suter, 2005; Bässler et al., 2002].

## 2.5 Carotinoide

### 2.5.1 Allgemein

Carotinoide sind eine weitverbreitete Substanzklasse von natürlich vorkommenden Pigmenten. Sie werden von allen Pflanzen synthetisiert, aber auch von nicht Photosynthese betreibenden Organismen wie Bakterien, Hefen und Schimmelpilzen [Stahl und Sies, 2005].

Der wohl bekannteste Vertreter dieser Substanzklasse ist das  $\beta$ -Carotin, von dem sich der Sammelname dieser Verbindungen ableitet. Carotinoide sind fettlösliche, hochungesättigte Pflanzenfarbstoffe. In grünen photosynthetisch aktiven Pflanzengeweben sind sie zusammen mit Chlorophyll in den Chloroplastenmembranen in Form von Proteinkomplexen lokalisiert, wodurch die Farbe der Carotinoide oft durch den grünen Farbstoff überdeckt wird. In photosynthetisch inaktiven Geweben sind Carotinoide in Fetttröpfchen oder mit Proteinen verknüpft in Chromoplasten zu finden, wodurch die Pflanzenteile, in denen sie vorkommen, gelb, orange oder rot gefärbt werden [Ball, 2006]. Chromoplasten sind für viele Blütenfarben und Färbungen von einigen Früchten (Paprika) und Wurzeln (Karotte) verantwortlich [Friedrich, 1987].

Carotinoide lassen sich aufgrund ihrer chemischen Struktur in folgende Substanzklassen einteilen:

1. Carotine: reine Kohlenwasserstoffverbindungen (Hydrocarboncarotinoide), wie z.B. Lycopin,  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Carotin
2. Xanthophylle: enthalten Sauerstoff, z.B. Lutein, Zeaxanthin (Hydroxycarotinoide); Astaxanthin und Cantaxanthin (Oxocarotinoide)

Carotine sind auf Grund der unterschiedlichen Struktur lipophiler als deren sauerstoffhaltigen Derivate. Die Sauerstofffunktion der Xanthophylle tritt in Form von Hydroxy-, Keto-, Epoxy-, Methoxy- und Carboxy-Gruppen auf, wodurch diese polarer als Carotine sind [Gladysz, 2007].

Von den mehr als 700 natürlich vorkommenden Carotinoiden wird nur ein geringer Anteil über die menschliche Ernährung zugeführt, absorbiert und vom menschlichen Körper metabolisiert. Ungefähr 50 Vertreter dieser Verbindungen verfügen über Provitamin A-Aktivität, wobei die meisten zur Gruppe der Carotine gehören. Folgende Carotine zählen zu den aktiven Analoga von Vitamin A:  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Carotin, Cryptoxanthin, Myxoxanthin, Torularhodin, Aphanicin, Echineon und neo- $\beta$ -Carotin [Elmadfa und Leitzmann, 2004; Suter, 2005]. Je nach Substanz kann die Provitamin A-Aktivität von weit unter 50% bis maximal 100% variieren.  $\beta$ -Carotin verfügt über theoretische 100%, seine Isomere 13-cis- $\beta$ -Carotin und 9-cis- $\beta$ -Carotin hingegen besitzen 53% bzw. 38% [Ball, 2006]. Im Serum liegt überwiegend das all-trans  $\beta$ -Carotin vor, da selbst nach hohen Dosen von all-trans  $\beta$ -Carotin und 9-cis- $\beta$ -Carotin-Gemischen das 9-cis- $\beta$ -Carotin Isomer nur in unbedeutenden Mengen gefunden wurde [Stahl et al., 1995].

Zu den inaktiven Analoga gehören Lutein (Xanthophyll) und Lycopin [Elmadfa und Leitzmann, 2004].

Sechs von den mehr als 700 natürlich vorkommenden Carotinoiden repräsentieren mehr als 95% der gesamten Blut-Carotinoide und sind dementsprechend gut untersucht worden:  $\beta$ -Carotin,  $\alpha$ -Carotin, Lycopin,  $\beta$ -Cryptoxanthin, Lutein und Zeaxanthin [Maiani et al., 2009].

### 2.5.2 Chemie

Chemisch werden Carotinoide den Tetraterpenen zugeordnet, die aus 8 Isopreneinheiten symmetrisch aufgebaut sind. Das charakteristische Merkmal der Carotinoidstruktur sind die langen Kohlenwasserstoffketten und die vielen konjugierten Doppelbindungen. Die C=C-Doppelbindungen interagieren miteinander und ermöglichen so die Delokalisation der Elektronen, welche für die chemische Reaktivität und lichtabsorbierenden Eigenschaften verantwortlich sind [Biesalski und Grimm, 2007; Britton, 1995].

Das Farbspektrum der Carotinoide reicht von gelb bis tiefviolett, welches auf der Absorption von Licht bei Wellenlängen von 420 bis 480 nm basiert [Handelman, 2001]. Je höher die Anzahl der Doppelbindungen, desto höher steigt die Wellenlänge des absorbierten Lichtes und umso deutlicher wird die rote Färbung sichtbar [Gladysz, 2007].

An den Enden des zentralen Systems der konjugierten Doppelbindungen können sich verschiedene Substituenten befinden. Die jeweils kettenendständigen Isopreneinheiten können durch Kondensation einen  $\beta$ -Iononring ausbilden. Der  $\beta$ -Iononring ist ein nicht substituierter, konjugierter Trimethylcyclohexen-Ring [Elmadfa und Leitzmann, 2004], der als Strukturelement von Vitamin A (Retinol) erst eine Provitamin A-Aktivität ermöglicht. Das  $\beta$ -Carotin-Molekül besitzt zwei  $\beta$ -Iononringe und weist im Vergleich mit anderen Carotinoiden eine doppelt so hohe Provitamin A-Aktivität auf [Stahl, 2002].

Lutein und Zeaxanthin besitzen funktionelle Sauerstoffgruppen im Ringsystem. Lycopin enthält keine geschlossene Ringstruktur sondern besitzt offenkettige Substituenten [Elmadfa und Leitzmann, 2004; Bässler et al., 2002].

Das zentrale System der Doppelbindungen ist zum einen für die Lichtabsorption und zum anderen für die antioxidative Kapazität verantwortlich. Je nach Anzahl der Doppelbindungen sind für jedes Molekül etliche cis- und trans-Konfigurationen möglich. Im Allgemeinen liegen pflanzliche Carotinoide meist in all-trans-Konfiguration vor und sind in dieser Form thermodynamisch am stabilsten. Allerdings wurden auch einige cis-Isomere in Blut und Geweben, sowie zwei stereoisomere Formen von Zeaxanthin in der menschlichen *Macula lutea* (gelber Fleck) nachgewiesen [Stahl und Sies, 2003, 2005].

Die Tendenz der cis-Isomere zu kumulieren und zu kristallisieren ist im Allgemeinen eher gering. Demzufolge sind sie leichter löslich, absorbierbar und transportfähiger als ihre Gegenspieler, die all-trans Formen [Britton, 1995].

Carotine sind aufgrund ihrer reinen Kohlenwasserstoffstruktur in Alkohol schlecht und in Wasser praktisch unlöslich, jedoch sind sie in organischen Flüssigkeiten wie Schwefelkohlenstoff, Benzol oder Chloroform gut löslich. Eine geringere Löslichkeit zeigen sie in Petrolether, Ether und Ölen. In Lösung sind Carotine bei niedrigen Temperaturen und unter Vermeidung von Luftsauerstoff und Licht zu lagern, da es sonst zur Bildung farbloser Oxidationsprodukte oder, bei höheren Temperaturen, zur Isomerisierung kommen kann. Antioxidantien wie z.B. Vitamin E können die Bildung der farblosen Oxidationsprodukte unterbinden [Bässler et al., 2002].

Als Einheit für die biologische Wirkung von Vitamin A bzw. Provitamin A-Aktivität wird das Retinoläquivalent (RÄ) verwendet. 1 mg RÄ entspricht 1 mg Retinol, 1.15 mg Retinylacetat, 1.83 mg Retinylpalmitat (natürliche Form des Vitamin A), 6 mg  $\beta$ -Carotin sowie 12 mg andere aktive Carotinoide. 0.3  $\mu$ g Retinol entsprechen 1 IE (Internationale Einheit; veraltet) [Elmadfa und Leitzmann, 2004].

### 2.5.2.1 Carotine

In der Natur sind Carotine für die Rot- und Orangefärbung verantwortlich und kommen vor allem in orangen, gelben oder roten, aber auch in violetten Früchten und Gemüsesorten vor [Heizmann, 2004]. Da der menschliche Organismus Carotine nicht synthetisieren kann, sind sie für den Menschen essentiell.

### $\beta$ -Carotin

Das dunkelrote  $\beta$ -Carotin (Abb. 2.10) ist ein symmetrisches Polypren und besteht aus zwei Isopreneinheiten mit insgesamt elf konjugierten Doppelbindungen und zwei endständigen  $\beta$ -Iononringen. In der Humanernährung ist dieses Carotin das wichtigste Provitamin A-Aktivität aufweisende Carotinoid, da theoretisch zwei Moleküle Vitamin A gebildet werden können [Britton et al., 2004].

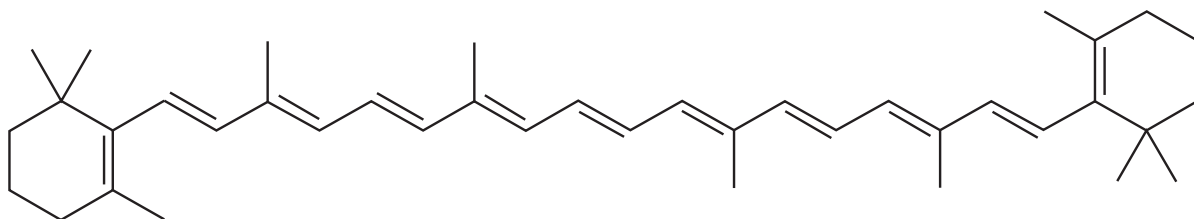


Abbildung 2.10: *Strukturformel von  $\beta$ -Carotin*

Natürliches  $\beta$ -Carotin liegt hauptsächlich als all-trans-Isomer vor, meist in Beisein von geringen Mengen an  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Carotin. Man findet es in gelben, orangen und grünem Gemüse und Früchten. Bedeutende  $\beta$ -Carotin Quellen sind Karotten, Spinat, Kopfsalat, Tomaten, Süßkartoffeln, Brokkoli, Orangen und Aprikosen [Holden et al., 1999].

### $\alpha$ -Carotin

Das violette  $\alpha$ -Carotin (Abb. 2.11) ist wie  $\beta$ -Carotin weit verbreitet, da es meist in Verbindung mit diesem vorkommt, jedoch in geringeren Konzentrationen. In grünen Blättern ist der Gehalt an  $\alpha$ -Carotin gering, in Karotten hingegen macht es bis zu 30% des Gesamtcarotinoidgehaltes aus [Britton et al., 2004]. Auch wenn die beiden Endgruppen von  $\alpha$ -Carotin in Ringform vorliegen, so ist nur eine ein  $\beta$ -Iononring, in welcher sich eine der neun konjugierten Doppelbindungen befindet. Im Vergleich zu  $\beta$ -Carotin besitzt  $\alpha$ -Carotin eine Provitamin A-Aktivität von 50% [Gladysz, 2007].

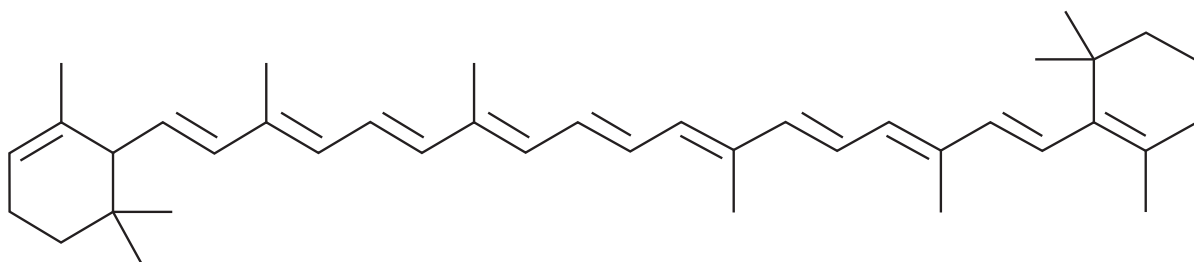


Abbildung 2.11: *Strukturformel von  $\alpha$ -Carotin*

Neben den bereits bei  $\beta$ -Carotin erwähnten Quellen findet man  $\alpha$ -Carotin gemeinsam mit  $\beta$ -Carotin in Kürbis, Melonen, Kohl, Erbsen und Marillen [Paiva und Russell, 1999].



### Lycopin

Lycopin (Abb. 2.12) besitzt die längste Molekülstruktur unter den Carotinoiden, zählt zu den azyklischen Verbindungen und hat somit keine Provitamin A–Aktivität. Auch wenn die Provitamin–Funktion als die wichtigste der Carotinoide deklariert wurde, so kommt dem Lycopin als effektivstes Antioxidans dieser Substanzklasse größere Bedeutung zu. Die Aktivität als Radikalfänger ist weniger von der Struktur der Endgruppen oder der Beschaffenheit der Substituenten abhängig, als von der Anzahl an konjugierten Doppelbindungen [Gladysz, 2007]. Lycopin besitzt 11 dieser Doppelbindungen.

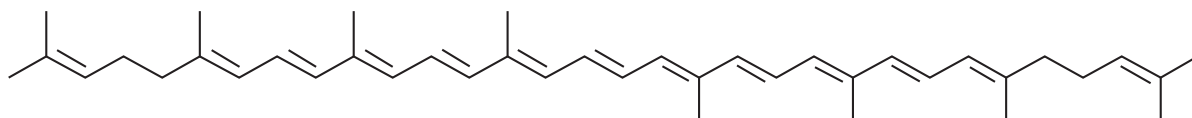


Abbildung 2.12: *Strukturformel von Lycopin*

Lycopin ist das charakteristische Carotin in Tomaten und kommt weiters in Hagebutten, rosa Grapefruits und Preiselbeeren vor [Holden et al., 1999; Gladysz, 2007].

#### 2.5.2.2 Xanthophylle

Xanthophylle sind gelbe Pigmente, die man in den Blättern der meisten Pflanzen findet, da sie in deren Plastiden synthetisiert werden. Daher sind grünblättrige Gemüsearten die Hauptquelle für Xanthophylle [Watzl und Bub, 2001]. Xanthophylle besitzen aufgrund der hydroxylierten Iononringe keine Provitamin A–Aktivität [Hoormann, 2006].

### Lutein

Das kupferrote Lutein (Abb. 2.13) kommt als ubiquitäres Hauptcarotinoid in den Chloroplasten aller grünen Pflanzen vor, weiters in Algen, Früchten und Blumen [Britton et al., 2004]. An den Enden des konjugierten Systems befinden sich zwei Ringstrukturen, die jeweils eine Hydroxylgruppe tragen.

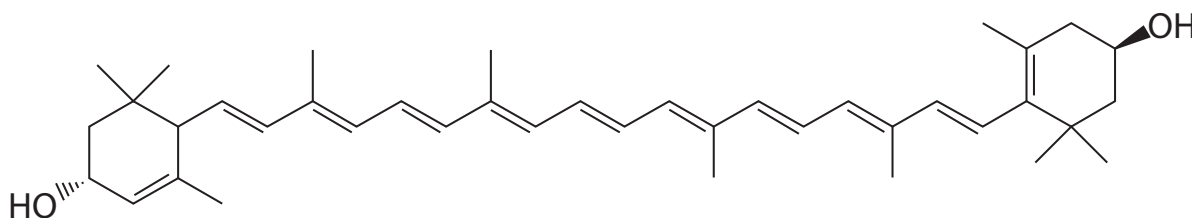


Abbildung 2.13: *Strukturformel von Lutein*

Lutein ist für die orange–rote Färbung in der Natur verantwortlich. Es kommt in gelben und orangen Gemüsearten wie Mais, Zucchini, Kürbis und Paprika und in Früchten wie Aprikosen und Papaya vor. Weiters findet man es in grünem Gemüse wie Brokkoli, Bohnen, Spinat und Erbsen sowie in grünen Früchten wie Kiwi, Weintraube und Apfel. Besonders in Eigelb ist Lutein reichlich vorhanden [Gladysz, 2007; Hoormann, 2006].

### **Zeaxanthin**

Zeaxanthin (Abb. 2.14) kommt häufig in Pflanzen, Algen und Bakterien vor, wobei es in Pflanzen und Algen meist von größeren Mengen an Lutein begleitet ist [Britton et al., 2004]. Zeaxanthin besitzt wie Lutein zwei Hydroxylgruppen an beiden Endringen, jedoch unterscheiden sich die beiden bezüglich der Lage einer Doppelbindung in einem Ring.

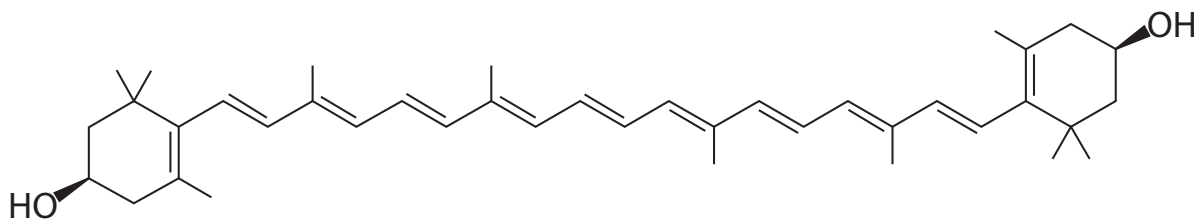


Abbildung 2.14: *Strukturformel von Zeaxanthin*

Zeaxanthin wird in Pflanzen aus  $\beta$ -Carotin synthetisiert, jedoch wird es sehr schnell in Violaxanthin umgewandelt. In pflanzlichen Geweben können Violaxanthin und Zeaxanthin im sogenannten Xanthophyll-Kreislauf wechselseitig ineinander umgewandelt werden [Clausen et al., 2010]. Auch wenn Zeaxanthin für die gelbe Färbung von Mais verantwortlich ist, so ist es nur in wenigen Früchten und Gemüsesorten zu finden. In orangefarbenen Paprika findet man mit 37% den höchsten Zeaxanthinanteil. Weitere gute Quellen für Zeaxanthin sind Orangen, Honigmelone und Mango [Hoormann, 2006].

### **$\beta$ -Cryptoxanthin**

$\beta$ -Cryptoxanthin (Abb. 2.15) ist in der Natur weit verbreitet, kommt jedoch nur in geringen Mengen in Pflanzen vor. Die für Xanthophylle charakteristische Sauerstofffunktion befindet sich an einem der beiden Endringe und tritt in Form einer Hydroxylgruppe auf. Dieses bizyklische Carotinoid besitzt im Vergleich zu  $\beta$ -Carotin eine Provitamin A-Aktivität von 50–60% [Ball, 2006].  $\beta$ -Cryptoxanthin findet man in Avocado, Mango, Papaya, Pfirsich, Pflaumen, Pomelo, Orangen, Orangensaft und Mandarinen, aber auch in Kürbis, Paprika und Pfeffer [Holden et al., 1999].

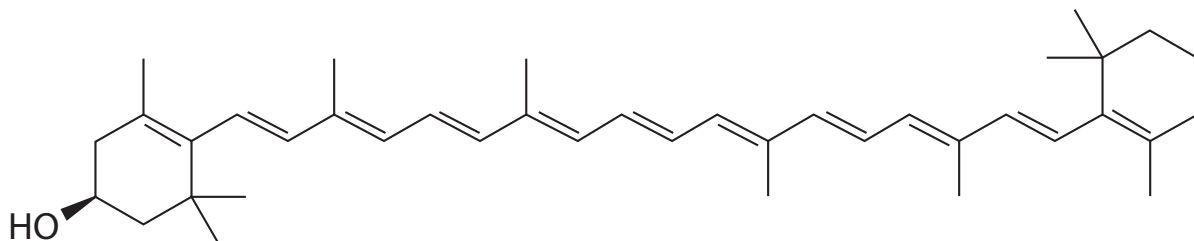


Abbildung 2.15: *Strukturformel von  $\beta$ -Cryptoxanthin*

### 2.5.3 Vorkommen

Carotinoide sind als Farbpigmente in der Pflanzen- und Tierwelt weit verbreitet. In pflanzlichen Zellen sind sie einerseits Bestandteil der Chloroplasten, in denen sie in Form von Chlorophyll–Carotinoid–Protein Komplexen vorliegen und somit zum photosynthetischen Apparat gehören und den Pflanzen als Lichtschuttfaktor dienen. Sie schützen diese vor phototoxischen Prozessen indem sie reaktive Sauerstoffverbindungen quenchen (inaktivieren) und Strahlungsenergie über den Triplettzustand direkt absorbieren und deaktivieren. Andererseits sind sie Bestandteil der Chromoplasten (chromo = Farbe), die üblicherweise während der Reifung aus den Chloroplasten hervorgehen und deren Hauptaufgabe die Anlockung von Pollen und Samen–Verbreitern zu sein scheint. Die Bindung der Carotinoide in den Chromoplasten wird in folgende Arten eingeteilt: Globulär, Kristallin, Membranartig, Fibrillar und Tubular [Bässler et al., 2002; Vishnevetsky et al., 1999]. Carotinoide liegen z.B. in Karotten und Tomaten in kristalliner Form vor, in Mango und Paprika als Öltröpfchen [Schieber und Carle, 2005].

Carotinoide sind eine der wichtigsten Mikronährstoffe der menschlichen Ernährung. Die wichtigsten Quellen sind vor allem gelbes, oranges und rotes Gemüse oder Obst sowie dunkelgrünes Blattgemüse. Beim Gemüse sind die höchsten Carotinoidgehalte bei Broccoli, Kohl, Spinat, Karotten, Tomaten, Paprika und Mais zu finden (Tabelle 2.6). Beim Obst weisen vor allem Aprikosen, Mangos, Guaven, Orangen, Papaya und rote Wassermelonen hohe Konzentrationen auf [Maiani et al., 2009; Mangels et al., 1993b] (Tabelle 2.7).

Der Carotinoidgehalt variiert nicht nur zwischen verschiedenen Sorten, sondern auch an einer Pflanze bzw. Frucht. So enthalten äußere Blätter und Randschichten mehr Carotinoide als die inneren Pflanzenteile. Untersuchungen an Wirsing zeigten, dass die äußeren Blätter um 150–mal mehr Lutein und 200–mal mehr  $\beta$ -Carotin aufwiesen als die inneren Blätter [Hart und Scott, 1995].

Je nach Sorte, Reifegrad, Standortbedingung, Jahreszeit und Lagerung variiert der Carotinoidgehalt in Lebensmitteln [Bässler et al., 2002; Paiva und Russell, 1999]. Die Farbe von Obst und Gemüse korreliert nicht immer mit dem Carotinoidgehalt [Suter, 2005].  $\beta$ -Carotin ist neben Lycopin, Cryptoxanthin, Lutein (Xanthophyll) und Zeaxanthin das mengenmäßig wichtigste natürliche Carotinoid [Bässler et al., 2002].

### 2.5.4 Bioverfügbarkeit

Carotinoide sind in zahlreichen Lebensmitteln enthalten, allerdings wird ihre Bioverfügbarkeit von vielen Faktoren beeinflusst, wie z.B. der Partikelgröße, der Lokalisation der Carotinoide in der Pflanze (Chloroplast oder Chromoplast), durch Interaktionen mit anderen Nahrungsmittelkomponenten oder Bestandteilen, die mit den zuständigen Mizellen interferieren (z.B. Pektin) [Paiva und Russell, 1999].

Castenmiller und West [1998] haben die Einflussfaktoren auf die Bioverfügbarkeit in der Abkürzung „SLAMENGHI“ zusammengefasst, die in Tabelle 2.8 erläutert wird.

Licht und Hitze bewirken auch in Abwesenheit von Sauerstoff die Bildung von cis-Isomeren und vermindern dadurch die Vitamin A–Aktivität der Provitamine [Elmadfa

## 2. LITERATURÜBERBLICK

Tabelle 2.6: *Carotinoidgehalte ausgewählter Gemüse ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ ) [Maiani et al., 2009; Mangels et al., 1993b]*

Gemüse	Lutein+Zeaxanthin	$\beta$ -Carotin	$\alpha$ -Carotin	Lycopin
Broccoli	707–3300	291–1750	0–73	–
Erbsen	1100–1400	110–1300	0.9–26	–
Karotte	254–510	4350–8840	2840–4960	500
Kürbis	630–2300	490–20000	0.9–16000	–
Mais	500–2300	8–7	50	–
Paprika, grün	92–911	2–335	0–139	–
Paprika, gelb	419–638	42–62	10–28	–
Paprika, rot	248–8506	1441–2390	0–287	–
Spinat	5930–7900	3100–4810	–	–
Tomate	46–213	320–1500	–	850–12700

Tabelle 2.7: *Carotinoidgehalte ausgewählter Früchte ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ ) [Maiani et al., 2009; Mangels et al., 1993b]*

Obst	Lutein+Zeaxanthin	$\beta$ -Carotin	$\alpha$ -Carotin	Lycopin
Aprikose	123–188	585–3800	0–44	54
Banane	86–192	43–131	60–156	0–247
Guave	–	102–2669	–	769–1816
Mango	–	109–1201	–	0–724
Orange	–	171–476	–	–
Papaya	93–318	81–664	–	0–7564
Wassermelone, rot	–	314–777	–	4770–13523

Tabelle 2.8: *Einflussfaktoren auf die Bioverfügbarkeit von Carotinoiden [Castenmiller und West, 1998]*

<b>„SLAMENGHI“</b> Species of carotenoids Linkages at molecular level / carotenoid structure Amount of carotenoids ingested Matrix Effectors (dietary fat, fiber, food preparation etc.) Nutrient status Genetic factors Host-related factors (BMI, stomach activity, infections, lipid malabsorption etc.) Interactions among these variables / Competition among carotenoids
---

und Leitzmann, 2004]. Eine milde Hitzebehandlung führt zu einer geringen Isomerisierung ohne wesentlichen Wirkungsverlust, hingegen führen Hitzesterilisierung oder längere Hitzebehandlungen zu Aktivitätsverlusten von mehr als 30%, die durch Isomerisierung, Oxidation und Zyklisierung verursacht werden [Biesalski, 1997]. Die Bearbeitung von Gemüse und Obst führt zu einer Zunahme von 10–39% an cis-Isomeren, wobei der Grad der Isomerisierung direkt mit der Intensität und Dauer der Hitzebehandlung korreliert [Paiva und Russell, 1999].

Durch fettarme Kost (<10 g Fett/Tag), Leberschäden, Pankreasinsuffizienz, Gallensäuremangel, Eisen bzw. Zinkmangel kommt es zu einer verminderten Bioverfügbarkeit der Carotinoide. Folgende Faktoren wirken sich ebenfalls negativ auf die Bioverfügbarkeit aus: Alkoholkonsum, Rauchen, die Aufnahme von Ballaststoffen und Fettersatzstoffen, die Anwesenheit von Thyroxin, Östrogenen und hohe Dosen Vitamin E, sowie die Präsenz von Cholestyramin, Colestipol und Neomycin [Elmadfa und Leitzmann, 2004; van het Hof et al., 2000; Suter, 2005; Stahl, 2002].

Die höchste Bioverfügbarkeit weisen synthetische Carotinoide auf, gefolgt von der Aufnahme aus natürlichen Quellen wie Papaya, Melone und Pfirsich. Eine etwas geringere Verfügbarkeit findet man bei Lebensmitteln wie Kürbis, Süßkartoffeln, Tomatensaft und gekochten Karotten. Eine noch geringere Bioverfügbarkeit weisen rohe Tomaten und Karotten sowie Spinat auf [Suter, 2005].

In Früchten sind durchschnittlich etwa 2–10 mg  $\beta$ -Carotin/kg und in Gemüse rund 20–60 mg  $\beta$ -Carotin/kg enthalten [Biesalski et al., 2004].

Auch wenn in einzelnen Lebensmitteln hohe Carotinoidgehalte zu finden sind, so sind diese nicht immer gut verfügbar. Der Grund dafür ist, dass sie aus rohen bzw. unverarbeiteten Lebensmitteln nur schwer resorbiert werden können. Die intrazelluläre Lokalisation der Carotinoide ist verschieden. In Blättern liegen sie in Form eines Pigment-Protein-Komplexes in den Chloroplasten vor, in Früchten und anderen Pflanzenteilen kommen sie in kristalliner Form in den Chromoplasten vor und sind von einer festen Cellulosematrix umschlossen [Bässler et al., 2002; van het Hof et al., 2000; Rock et al., 1998]. Die Bioverfügbarkeit nimmt mit zunehmender Kristallgröße im Allgemeinen ab. Carotinoide aus öligen Lösungen oder Suspensionen sind gut verfügbar [Stahl, 2002].

van het Hof et al. [1999] stellten fest, dass die relative Bioverfügbarkeit von Lutein aus Gemüse fünf mal so hoch ist wie die von  $\beta$ -Carotin (67% und 14%).

Im Übrigen unterscheidet sich die Bioverfügbarkeit einzelner Carotinoide aus dem gleichen Lebensmittel, wie Untersuchungen von Spinat ergaben. So besitzt  $\beta$ -Carotin aus Spinat eine Bioverfügbarkeit von 5%, hingegen beträgt die von Lutein 45% [Castenmiller et al., 1999]. Die Ursache dafür könnte in der unterschiedlichen Lipophilität liegen. Lutein ist im Vergleich zu  $\beta$ -Carotin weniger lipophil, wodurch es leichter an eine wässrige Umgebung abgegeben werden kann [van het Hof et al., 2000].

Die Bioverfügbarkeit aus Lebensmitteln kann durch mechanische Bearbeitung (Zerkleinern, Entsaften), Erhitzen und Zugabe von Fett erhöht werden [Bässler et al., 2002; DACH, 2000]. Weiters kann der Carotinoid-Protein-Komplex durch mechanische Bearbeitung zerstört werden [Castenmiller et al., 1999]. Das Erhitzen, Zerkleinern und Pürieren von Gemüse resultiert in einer kleineren Partikelgröße und einer Spaltung der Zellwände, so dass die Carotinoide für die Absorption im Intestinallumen leichter ver-

füßbar sind. So war z.B. die Aufnahme von Lycopin aus erhitztem Tomatensaft höher als aus einem unverarbeiteten Tomatensaft [Paiva und Russell, 1999]. Ebenso untersuchten Dewanto et al. [2002] die Auswirkungen von Hitzeeinwirkungen auf den Nährwert von Tomaten. Es stellte sich heraus, dass ein Erhitzungsprozess zu einer erhöhten Bioverfügbarkeit von Lycopin und auch zu einer erhöhten antioxidativen Kapazität führte, im Vergleich zu frischen Tomaten.

### 2.5.5 Metabolismus

Carotinoide werden als lipophile Substanzen zusammen mit anderen Lipiden im oberen Dünndarm vorwiegend passiv resorbiert. Ein Teil der absorbierten Carotinoide passiert die Darmwand unverändert und gelangt über die Pfortader in die Leber. Der andere Teil wird gemeinsam mit Nahrungslipiden und anderen lipophilen Nahrungsbestandteilen mittels Mizellen in die Mucosazellen transportiert. Die intestinale Absorption ist stark von der Gallensalzkonzentration bzw. dem Fettgehalt der Nahrung abhängig, da die Carotinoide Gallensäuremizellen benötigen, um durch die Membran der Dünndarmzelle zu gelangen [Bässler et al., 2002; Elmadfa und Leitzmann, 2004].

Gesättigte Fettsäuren bewirken anscheinend eine bessere Carotinoidabsorption als ungesättigte. Folgende Gründe werden diskutiert:

- Polyenfettsäuren (PFS) erhöhen die Mizellengröße, wodurch die Diffusionsgeschwindigkeit gesenkt wird.
- PFS verändern die Ladung der Mizellenoberfläche und beeinflussen dadurch die Affinität zur Epithelzelle negativ.
- PFS beanspruchen in den VLDL mehr Raum als gesättigte Fettsäuren und minimieren somit den Raum für andere Lipide wie Carotine, Retinol und Tocopherol.
- $\omega$ -3-Fettsäuren hemmen die VLDL-Synthese.
- PFS erhöhen den Bedarf an Vitamin E, welches Retinol bzw. die Carotinoide vor Oxidation schützt [Elmadfa und Leitzmann, 2004].

Bei der Absorption von Carotinoiden scheint auch die Isomerenform eine wichtige Rolle zu spielen. Studien mit  $\beta$ -Carotin haben gezeigt, dass neben der trans- auch die cis-Form in die Mucosazelle aufgenommen wird. Da im Blut jedoch das all-trans- $\beta$ -Carotin Isomer überwiegt, lässt sich folglich daraus ableiten, dass es in der Mucosazelle zu einer Isomerisierung des cis- $\beta$ -Carotin zu all-trans- $\beta$ -Carotin kommt [Watzl und Bub, 2001].

Die enzymatische Spaltung von  $\beta$ -Carotin und anderen Provitamin-A-Carotinoiden erfolgt überwiegend im Cytosol der Darmmucosazelle, aber auch in der Leber- bzw. den meisten anderen Gewebszellen. Das Enzym, die 15,15-Dioxygenase, spaltet einerseits an der zentralen Doppelbindung zu Retinal, andererseits an einer bzw. mehreren exzentrischen Doppelbindungen zu Apo-Carotenalen (Zwischenprodukte mit ungleicher Seitenkette). Die Spaltungsrate ist von der Versorgungslage des Organismus, der Höhe

der Carotin- bzw. Proteinzufuhr, dem Vitamin-E-Status und der gleichzeitigen Fettzufuhr abhängig. Werden Carotinoide gemeinsam mit Vitamin A aufgenommen, so ist zum einen die zentrale Spaltung vermindert, während zur selben Zeit der Anteil an ungespaltenen Carotinoiden ansteigt. Je besser die Vitamin-A-Versorgungslage, desto geringer ist die Enzymaktivität [Elmadfa und Leitzmann, 2004; Bässler et al., 2002; Biesalski und Grimm, 2007].

In der Darmschleimhaut wird  $\beta$ -Carotin zu etwa 17% zu Retinal gespalten [DACH, 2000]. Das durch die zentrale Spaltung gebildete Retinal wird entweder zu Retinol reduziert, als Retinylester in der Leber gespeichert oder zu Retinsäure oxidiert. Die entstandenen  $\beta$ -Apocarotinalen können oxidiert oder reduziert werden oder ebenfalls Retinal bilden [Bässler et al., 2002].

Aus  $\beta$ -Carotin können ein bis zwei Moleküle Retinal gebildet werden. Theoretisch sind zwei Moleküle möglich, jedoch kommt dies praktisch kaum vor, da nicht bei jeder Spaltung zwei intakte Retinal-Moleküle entstehen. Das gebildete Retinal wird innerhalb der Epithelzelle an ein zelluläres Retinol-Binding-Protein Typ II (CRBP II) gebunden und durch die Alkohol-Dehydrogenase zu Retinol reduziert. Durch die anschließende Veresterung mit Palmitin-, Stearin-, Öl- bzw. Linolensäure entstehen Retinylester, die in Chylomikronen eingebaut und mittels Lymphe ins Blut transportiert werden [Elmadfa und Leitzmann, 2004]. Auf dem Weg zur Leber werden die Chylomikronen durch endothelständige Lipoproteinlipasen (LPL) abgebaut und die lipophilen Bestandteile inklusive der Carotinoide werden in die Zellen aufgenommen [Biesalski und Grimm, 2007]. Der größte Teil der Chylomikronen-Remnants gelangt jedoch in die Leber, wo die Retinylester zu Retinol hydrolysiert werden. Danach werden sie in die Sternzellen der Leber transportiert, wo eine weitere Veresterung und anschließende Speicherung stattfindet [Elmadfa und Leitzmann, 2004].

Um Carotinoide auch den extrahepatischen Geweben zur Verfügung zu stellen, werden diese in der Leber in VLDL (Very Low Density Lipoprotein) eingebaut und ins Blut abgegeben [Biesalski und Grimm, 2007]. Im Plasma werden VLDL durch die Lipoproteinlipase zu LDL (Low Density Lipoprotein) umgebaut und können von den peripheren Körperzellen aufgenommen werden. Das HDL (High Density Lipoprotein) ist ebenfalls ein Carotinoidtransportierendes-Lipoprotein, welches für den Rücktransport von Cholesterin zur Leber verantwortlich ist [Watzl und Bub, 2001].

Die bedeutendsten Carotinoide im Plasma sind Zeaxanthin, Lutein, Lycopin, Cryptoxanthin,  $\alpha$ - und  $\beta$ -Carotin (15–30% der Gesamtcarotinoide) [Elmadfa und Leitzmann, 2004]. Diese sind beim Transport im Blut unterschiedlich auf die Lipoproteine verteilt. Lutein und Zeaxanthin werden vorwiegend in HDL (53%) und in geringerem Ausmaß in LDL und VLDL (31 bzw. 16%) transportiert.  $\beta$ -Carotin,  $\alpha$ -Carotin und Lycopin, werden zu 58–73% an LDL, 17–26% an HDL und 10–16% an VLDL gebunden.  $\beta$ -Cryptoxanthin wird zu gleichen Teilen in LDL und HDL (je ca. 40%) transportiert, die restlichen 20% in VLDL [Parker, 1996].

Die Speicherung erfolgt größtenteils im subkutanen Fettgewebe (80–85%), in der Leber (8–12%) und in geringeren Anteilen in Haut, Niere, Netzhaut des Auges, Muskelgewebe und in anderen Organen [Bässler et al., 2002; Elmadfa und Leitzmann, 2004].

### 2.5.6 Physiologische Funktionen

#### 2.5.6.1 Provitamin A Wirkung

Die Provitamin A Wirksamkeit der Carotinoide ist von der Anwesenheit des  $\beta$ -Iononrings abhängig. Da  $\beta$ -Carotin zwei dieser Ringe besitzt hat es von allen Carotinoiden die höchste Bedeutung, gefolgt von  $\alpha$ -Carotin und  $\beta$ -Cryptoxanthin. Die Aktivität des Spaltungsenzyms hängt von der Vitamin A Versorgungslage ab, wodurch den Carotinene eine große Bedeutung bei der Versorgung mit Vitamin A zukommt. Da etwa die Hälfte des absorbierten  $\beta$ -Carotins in Retinol umgewandelt wird, stehen dem Körper bei einer mittleren Absorptionsrate von ca. 33% etwa 1/6 der aufgenommenen  $\beta$ -Carotinmenge als Retinoläquivalente zur Verfügung und können einem Mangel vorbeugen [Elmadfa und Leitzmann, 2004]. Vitamin A ist wichtig für den Sehvorgang, die Proliferation und Zelldifferenzierung, die Embryonalentwicklung, Wachstum und vielem mehr. Die individuellen Einflussfaktoren auf die Vitamin A Versorgung mittels Carotinoiden sind neben der Effektivität der Spaltung und der Substratspezifität für verschiedene Provitamin A Verbindungen auch verschiedene genetische Abweichungen bzw. Faktoren, die die Expression der carotinoidspaltenden Enzyme determinieren [Stahl und Sies, 2005].

#### 2.5.6.2 Antioxidative Wirkung

Weil Carotinoide rasch oxidiert werden können sind sie in der Lage, andere Substanzen vor der zellzerstörenden Wirkung oxidativer Prozesse zu schützen. Sie besitzen die Fähigkeit zum Inaktivieren (Quenchen) aktiver Sauerstoffverbindungen v.a. von Singulett-sauerstoff und Peroxylradikalen. Des Weiteren können sie angeregte Sensibilisatormoleküle deaktivieren, welche an der Bildung von Radikalen und Singulett-sauerstoff involviert sind [Stahl und Sies, 2005; Biesalski et al., 2004].

Die Inaktivierung von Singulett-sauerstoff durch Carotinoide erfolgt entweder physikalisch oder chemisch, wobei die chemische Inaktivierung eine geringere Bedeutung hat. Die physikalische Inaktivierung beruht auf der Übertragung der Energie vom Singulett-sauerstoff auf das Carotinoid, welches dadurch angeregt wird. Anstatt in einer weiteren chemischen Reaktion wieder in den Grundzustand zu gelangen, tritt das angeregte Carotinoid in Wechselwirkung mit seiner Umgebung und gibt die Energie in Form von Wärme ab. Das Carotinoid bleibt beim physikalischen Quenchen intakt und kann somit weitere Deaktivierungszyklen durchlaufen. Die Effizienz der Quenching-Aktivität von Carotinoiden nimmt mit der Anzahl der konjugierten Doppelbindungen zu. So besitzen neben  $\beta$ -Carotin auch Zeaxanthin, Cryptoxanthin, Lycopin und  $\alpha$ -Carotin sehr gute Quenching-Eigenschaften. Das effektivste Carotinoid ist jedoch das azyklische Lycopin [Stahl und Sies, 2003].

Die antioxidative Aktivität von Carotinene und Xanthophyllen wurde auch schon von Miller et al. [1996] untersucht. Anhand der Fähigkeit der Carotinoide das ABTS-Radikal-Kation zu beseitigen wurde die relative antioxidative Aktivität gemessen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Eignung zum Radikalfänger zum einen von der Anwesenheit funktioneller Gruppen mit steigender Polarität, wie Carbonyl- und Hydroxylgruppen an den endständigen Ringen und zum anderen von der Anzahl der konjugierten



Doppelbindungen abhängt. Carotine mit 11 konjugierten Doppelbindungen sind bessere Radikalfänger als Xanthophylle, mit Ausnahme von  $\beta$ -Cryptoxanthin. Dadurch ergibt sich folgende Hierarchie: Lycopin >  $\beta$ -Carotin >  $\alpha$ -Carotin >  $\beta$ -Cryptoxanthin > Zeaxanthin > Lutein [Miller et al., 1996]. Die Quenching-Konstante von Lycopin ist mehr als doppelt so hoch wie die von  $\beta$ -Carotin und 10-mal höher als von  $\alpha$ -Tocopherol [Dewanto et al., 2002].

Unter den verschiedenen Radikalen, die im Körper unter oxidativen Bedingungen gebildet werden, reagieren Carotinoide äußerst wirksam mit Peroxylradikalen, die beim Prozess der Lipidperoxidation entstehen. Durch die Reaktion mit Peroxylradikalen, speziell bei niedrigem Sauerstoffpartialdruck, werden resonanzstabilisierte Radikale gebildet, wodurch die Kettenreaktion der Lipidperoxidation unterbrochen werden kann. Carotinoide unterliegen während der Deaktivierung der Peroxylradikale der Autooxidation und werden somit zerstört. Regenerationsmechanismen wie bei Vitamin E sind bisher noch nicht bekannt [Stahl und Sies, 2005; Biesalski et al., 2004; Watzl und Bub, 2001]. Carotinoide sind bei minimalen Sauerstoffkonzentrationen, wie sie in den meisten Geweben unter physiologischen Bedingungen zu finden sind, effektive Antioxidantien, jedoch können sie auch unter bestimmten Bedingungen, wie hohem Sauerstoffpartialdruck, prooxidativ wirken. Diese prooxidative Wirkung wurde *in vitro* festgestellt und wird mit den beobachteten nachteiligen Effekten hoher Dosen von  $\beta$ -Carotin diskutiert [Stahl und Sies, 2003]. Wenngleich alle Carotinoide alleine antioxidativ wirksam sind, weisen Kombinationen verschiedener Carotinoide eine höhere antioxidative Aktivität auf. Mischungen, in denen Lycopin oder Lutein enthalten waren, zeigten die besten synergistischen Effekte [Paiva und Russell, 1999].

### 2.5.6.3 Carotinoide und Krebs

*In vitro* Studien und Tierversuche haben den Beweis erbracht, dass Carotinoide einen möglichen protektiven Einfluss bei verschiedenen Krebserkrankungen haben. Dies wird anhand von epidemiologischen Studien bestätigt, die eine carotinoidreiche Ernährung mit einem geringeren Risiko für verschiedenartige Krebsformen in Verbindung bringen. So wurde z.B. ein geringeres Risiko für Prostatakrebs mit einer erhöhten Aufnahme von Lycopin aus Tomaten und Tomatenprodukten assoziiert [Stahl und Sies, 2005].

Carotinoide sind auch in der Lage die interzelluläre Kommunikation über Gap Junctions zu verbessern. Durch diese tunnelartigen Zellverbindungen ist ein Austausch von niedermolekularen Signal- und Nährstoffen möglich. Eine große Bedeutung haben die Gap Junctions bei der Regulation von Zellwachstum, Differenzierung und Apoptose, welche auch bei der Tumorgenese eine Rolle spielen. Gesunde Zellen stehen über Gap Junctions mit ihrer Umgebung in Kontakt, im Gegensatz zu Tumorzellen, die nur über eine geringe interzelluläre Kommunikation verfügen. Die krebspräventive Wirkung von Carotinoiden zeigte sich in Zellkulturen, in denen sie die Entwicklung von tumorinduzierten Fibroblasten zu Tumorzellen gehemmt haben. Diese Hemmung wird auf die verstärkte Kommunikation über die Gap Junctions zurückgeführt. Der interzelluläre Informationsaustausch wird von den beiden Carotinoiden  $\beta$ -Carotin und Canthaxanthin am meisten stimuliert [Stahl und Sies, 2005].

### 2.5.6.4 Wirkung auf die Haut

Für die meisten photosynthetisch aktiven Organismen sind Carotinoide aufgrund ihrer Lichtschutzwirkung essentiell. Bei Personen mit einer Überempfindlichkeit der Haut gegenüber Licht (Porphyrien) erzielte eine gesteigerte Carotinoidaufnahme eine Minderung des lichtinduzierten Erythems. Dieser Effekt beruht zum einen auf der Fähigkeit der Carotinoide Licht zu absorbieren und zum anderen auf der Fähigkeit zum Pigmentausgleich [Biesalski, 1997].

$\beta$ -Carotin-Präparate sind als so genannte orale Sonnenschutzmittel im Handel erhältlich, auch wenn es bis jetzt nur wenige Studien gibt, die eine Schutzwirkung dieser Präparate vor sonnenbedingter Schädigung der Haut bestätigen. Die protektiven Effekte werden auf die antioxidativen Eigenschaften der Carotinoide zurückgeführt [Stahl und Sies, 2005]. Carotinoide werden aufgrund ihrer Wirkung auf die Haut im Unterhautfettgewebe und im *Stratum Corneum* begünstigt angereichert. Carotinoide können zwar den Eigenschutz der Haut erhöhen, aber sie ersetzen in keinem Fall Sonnenschutzprodukte [Biesalski, 1997; Stahl, 2002].

### 2.5.6.5 Wirkung am Auge

Carotinoide, insbesondere Zeaxanthin und Lutein besitzen einen protektiven Effekt gegen die Entstehung einer altersbedingten Degeneration der *Macula lutea* (Age-related Macular Degeneration, AMD). Die *Macula lutea* (gelber Fleck) ist ein Teil der Retina (Netzhaut) und beinhaltet den Bereich des schärfsten Sehens. AMD ist einer der Hauptgründe für schwere Sehstörungen und in weiterer Folge für eine Erblindung bei Menschen im Alter von über 65 Jahren in der westlichen Welt. Für die Färbung der *Macula lutea* und der Retina sind die Carotinoide Lutein und Zeaxanthin verantwortlich, wobei deren Konzentrationen in der *Macula lutea* am höchsten sind. Bone et al. [1997] untersuchten die Lutein- und Zeaxanthinkonzentrationen der Retina AMD erkrankter Personen und fanden heraus, dass diese im Vergleich zu nicht erkrankten Personen geringere Konzentrationen in der Netzhaut aufwiesen. Die schützende Wirkung der Carotinoide lässt sich auf deren Fähigkeit zur Filterung schädlicher Strahlung und als Antioxidans zurückführen [Biesalski, 1997; Stahl und Sies, 2005]. Das Einwirken von blauem Licht bewirkt die Entstehung von freien Radikalen, die zum oxidativen Stress in der Retina führen. Epidemiologische Beweise zeigen, dass Lutein die Blaulichtintensität um 40–90% senken kann [Santosa und Jones, 2005].

Eine erhöhte Aufnahme von Lebensmitteln, die reich an Lutein und Zeaxanthin sind, steht in Zusammenhang mit einem geringeren Risiko an AMD zu erkranken, hingegen wird ein niedriger Xanthophyll-Plasmaspiegel mit einem höherem Risiko für AMD assoziiert [Junghans et al., 2001].

Es wird die Vorstellung erweckt, dass der Verzehr von grünem Blattgemüse, welches hohe Gehalte an Lutein und Zeaxanthin aufweist, das Risiko einer AMD-Erkrankung möglicherweise senken kann. Die Studie von Sommerburg et al. [1998] stellte jedoch fest, dass die meisten grünen Blattgemüsearten zwar einen Lutein-Gehalt von 15–47% enthalten, aber nur einen sehr geringen Anteil an Zeaxanthin von 0–3% aufweisen. Die Studie

zeigt somit, dass Früchte und Gemüse mit verschiedenen Farben konsumiert werden sollten, um die Aufnahme von Lutein und Zeaxanthin über die Nahrung zu erhöhen.  $\beta$ -Carotin und andere Carotinoide scheinen die Kataraktentstehung zu hemmen [Biesalski, 1997].

### 2.5.7 Bedarf und Empfehlung

Die Bedeutsamkeit der Carotinoide liegt in ihrer antioxidativen, antimutagenen und antikanzerogenen Wirkung, weshalb ein erhöhter Verzehr von Obst und Gemüse jeglicher Art empfohlen wird („5-a-day“). Da  $\beta$ -Carotin das meist untersuchte und dominierende Carotinoid ist, findet man in der Literatur überwiegend Angaben zur täglichen Aufnahme von  $\beta$ -Carotin. Da es keine expliziten Zufuhrempfehlungen für Carotinoide gibt, wird für  $\beta$ -Carotin ein Schätzwert von 2–4 mg/Tag angegeben. Eine tägliche Aufnahme von bis zu 10 mg/Tag hat sich in großen epidemiologischen Studien als unbedenklich erwiesen. Eine Zufuhr von bis zu 30 mg  $\beta$ -Carotin/Tag ist auch in der Schwangerschaft bedenkenlos möglich [DACH, 2000; Bässler et al., 2002; Suter, 2005].

Die DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung) empfiehlt eine tägliche Aufnahme von 6 mg  $\beta$ -Carotin für Männer und 5 mg  $\beta$ -Carotin für Frauen bzw. 9–18 mg Gesamtcarotinoide. Der Richtwert für einen optimal präventiven Plasmaspiegel wurde für  $\beta$ -Carotin mit  $>0.4\mu\text{mol/l}$  angegeben. Anhand der „5-a-day“-Empfehlung ist eine theoretisch erreichbare Aufnahme von 5.2–6.0 mg Provitamin A möglich. Die tatsächliche Aufnahme liegt in Deutschland und den USA bei 1.5–2 mg  $\beta$ -Carotin bzw. 5.3 mg Gesamtcarotinoide/Tag [Heizmann, 2004].

In Europa beträgt die durchschnittliche  $\beta$ -Carotin-Aufnahme aus natürlichen Quellen 2–5 mg/Tag. Zwischen den europäischen Ländern ist bezüglich der Aufnahme einzelner Carotinoide und daraus folgender Serum-Konzentrationen ein ansteigender Nord-Süd-Verlauf zu beobachten. Dieses Muster stimmt mit der Verfügbarkeit von Lebensmitteln überein, da in südlichen Ländern (Griechenland, Italien, Portugal, Spanien) größere Mengen an Obst und Gemüse verzehrt werden, als in nördlichen Ländern (Großbritannien, Irland, Skandinavische Länder) [Maiani et al., 2009].

### 2.5.8 Mangel

Spezifische Symptome eines Carotinoid Mangels sind bislang nicht bekannt. Klinische Symptome treten dann auf, wenn der Carotinoidmangel im Rahmen eines Vitamin A Mangels vorkommt. Dies bedeutet aber nicht, dass es keinen Mangel bzw. keine Unterversorgung geben kann. Denn auch bei ausreichender Vitamin A Zufuhr könnte eine  $\beta$ -Carotin-Unterversorgung radikal-induzierte Erkrankungen begünstigen [Biesalski, 1997; Bässler et al., 2002; Suter, 2005].

### 2.5.9 Hypervitaminose

Jene Carotinoidmengen, die in der Nahrung vorkommen bzw. mit der Nahrung aufgenommen werden zeigen keine toxischen Effekte. Eine durch Carotinoide induzierte Vit-

amin A Toxizität ist nicht möglich, da sich selbst bei hohen Mengen von  $\beta$ -Carotin keine Veränderungen der Plasma-Retinolspiegel zeigen [Suter, 2005; Biesalski, 1997]. Durch eine exzessive Zufuhr von Carotinoiden über die Nahrung oder durch Supplemente kann es zu einer Hypercarotinose (Carotinodermie) kommen, welche aufgrund der Carotinoidanreicherung in der Haut zu einer Gelbfärbung dieser führt. Die Carotinodermie tritt besonders im Nasen- und Mundbereich und an den Hand- und Fußinnenflächen auf. Nach Zufuhr hoher Mengen reinem  $\beta$ -Carotin und Canthaxanthin sowie nach dem Verzehr großer Mengen von Orangen oder Mangos treten Carotinodermien auf. Da diese Gelbfärbung reversibel ist bildet sie sich nach Reduzierung oder Absetzen der Carotinoidzufuhr vollständig zurück. Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Carotinodermie erst ab einem  $\beta$ -Carotin-Plasmaspiegel von  $>400$  mg/dl und einer Zufuhr von 30 mg reinem  $\beta$ -Carotin auftritt. Bei einer hohen Zufuhr von Lycopin kann es zu einer Lycopinodermie kommen, welche zu einer Orangefärbung der Haut führt, die ebenfalls reversibel ist. Bei einer exzessiven Einnahme von Canthaxanthin über einen längeren Zeitraum, kann es zu kristallinen Ablagerungen in der Retina kommen, die ebenfalls reversibel sind [Biesalski, 1997; Biesalski et al., 2004; Suter, 2005].

## 2.6 Antioxidative Kapazität

Eine geeignete Anwendung der Messung der Antioxidativen Kapazität erfordert ein klares Verständnis und eine deutliche Beschreibung, was wirklich gemessen werden soll: Obwohl die Begriffe antioxidative Aktivität und antioxidative Kapazität sehr oft auswechselbar verwendet werden, sind deren wirkliche Bedeutungen doch recht unterschiedlich.

- Die antioxidative Aktivität bezieht sich auf die konstante Menge eines einzelnen Antioxidans gegen ein bestimmtes freies Radikal.
- Die antioxidative Kapazität ist die Messung der Gramm-Moleküle eines bestimmten freien Radikals gereinigt durch eine Testlösung, unabhängig von der antioxidativen Aktivität irgendeines in der Mischung vorliegenden Antioxidans [Ghiselli et al., 2000].

Antioxidantien sind Substanzen, die Elektronen abgeben oder Wasserstoffionen aufnehmen und Moleküle vor Oxidation schützen können [Watzl und Leitzmann, 1995]. Antioxidantien sind jene Substanzen, die in geringerer Konzentration im Vergleich zum oxidierbaren Substrat vorliegen und die in der Lage sind, eine Oxidation dieses Substrats zu verzögern oder zu verhindern [Halliwell et al., 1995].

Die Quellen reaktiver Sauerstoffverbindungen (ROS, Reactive Oxygen Species) und freier Radikale sind sowohl endogen als auch exogen. Im Körper entstehen sie als Nebenprodukte bei metabolischen Vorgängen, wie z.B. in Mitochondrien (oxidative Energiegewinnung), Phagozyten, Arachidonsäurekaskade, Peroxisomen, Entzündungen und sportlicher Betätigung. Zu den exogenen Quellen werden Zigarettenrauch, Umweltschadstoffe, Strahlung, UV-Licht, Medikamente, Pestizide und Ozon gezählt [Elmadfa und Leitzmann, 2004; Biesalski und Grimm, 2007].

Freie Radikale besitzen ein ungepaartes Elektron und sind dadurch besonders reaktionsfreudig. Zu den wichtigsten Radikalen gehört das Superoxid-anion-Radikal, das Hydroxyl-Radikal, das Stickoxyd-Radikal und Lipid-Peroxy-Radikale. Als reaktive Vorstufen der freien Radikale gelten Hydrogenperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), Singulett-Sauerstoff ( $^1\text{O}_2$ ), hypochlorige Säure ( $\text{HOCl}$ ) und Ozon ( $\text{O}_3$ ). Eine fehlende oder unzureichende Inaktivierung dieser aggressiven Sauerstoffverbindungen führt zur Schädigung von Proteinen, Kohlenhydraten, Lipiden und Nucleinsäuren. Der Körper besitzt sowohl enzymatische als auch nicht-enzymatische antioxidative Abwehrmöglichkeiten (Tabelle 2.9), um freie Radikale unschädlich zu machen [Elmadfa und Leitzmann, 2004].

Tabelle 2.9: *Enzymatische und Nicht-Enzymatische Schutzfaktoren [Elmadfa und Leitzmann, 2004]*

Schutzfaktoren		
Enzymatische	Nicht-Enzymatische	
	Endogen	Exogen
Superoxid-Dismutase	Glutathion	Vitamin E
Katalase	Ubichinon	Vitamin C
Glutathion-Peroxidase	Harnsäure	Carotinoide

Wenn die Konzentration freier Radikale die antioxidative Kapazität des Körpers übersteigt, kommt es zum oxidativem Stress [Elmadfa und Leitzmann, 2004]. Jedoch können auch die nicht-enzymatischen Schutzfaktoren, im Gegensatz zu den enzymatischen Schutzfaktoren, selbst radikalisch und somit schädlich werden [Ohlenschläger, 1995].

Die Folgen von oxidativem Stress sind vielfältig:

- Veränderungen von Eiweißstrukturen führen zu Zellschädigung, verminderter Enzymaktivität und erhöhter Tumorgenese
- Veränderungen an Lipiden führen zu Membranschädigungen, Lipidperoxidation und Atherosklerose
- Veränderungen an Kohlenhydraten führen zu Veränderungen der Rezeptoren und zu einer verringerten Viskosität der Gelenksflüssigkeit
- Veränderungen in der DNA können zur Krebsentstehung führen [Elmadfa und Leitzmann, 2004].

Als antioxidativ wirksame Substanzen, die über die Nahrung zugeführt werden können, haben besonders die sekundären Pflanzeninhaltsstoffe eine große Bedeutung. Sie werden aufgrund ihrer chemischen bzw. funktionellen Eigenschaften in folgende Klassen eingeteilt (Tabelle 2.10).

Tabelle 2.10: *Sekundäre Pflanzenstoffe (modifiziert nach [Watzl und Leitzmann, 1995])*

Sekundäre Pflanzenstoffe	Beispiele
Carotinoide	$\alpha$ - und $\beta$ -Carotin, Lutein, Zeaxanthin
Phytosterine	$\beta$ -Sitosterin, Sigmasterin, Campesterin
Saponine	Digitonin, Glycyrrhetinsäure
Glucosinolate	Sinigrin, Gluconapin, Glucobrassicin
Polyphenole	Flavonoide, Lignane, Phenolsäuren
Protease-Inhibitoren	(Chymo)Trypsin-Inhibitoren
Terpene	Limonen, Carvon
Phytoöstrogene	Genistein, Secoisolariciresinol
Sulfide	Alliin, Allicin, Diallyldisulfid
weitere	Phytinsäure, Chlorophyll

### 2.6.1 Methoden zur Messung der antioxidativen Kapazität

Die chemische Diversität der Antioxidantien erschwert die Trennung und Identifikation der einzelnen Substanzen aus der pflanzlichen Matrix [Ou et al., 2002].

Es wurden einige Methoden entwickelt, um die totale antioxidative Kapazität von Nahrungsmitteln messbar zu machen. Dies ermöglicht Vergleiche zwischen verschiedenen Lebensmitteln und zwischen unterschiedlichen Prozessen der Lagerung, Verarbeitung und Zubereitung [Hunter und Fletcher, 2002].

Tabelle 2.11: *Methoden zur Messung der antioxidativen Kapazität*

TEAC	Trolox Equivalent Antioxidant Capacity	mmol Trolox-Ä/100 g
TRAP	Total Radical-Trapping antioxidant Parameter	mmol Trolox-Ä/100 g
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power	mmol $\text{Fe}^{2+}$ -Ä/100 g
ORAC	Oxygen Radical Absorbance Capacity	$\mu\text{mol}$ Trolox-Ä/g
DPPH	2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl	$\mu\text{mol}$ Trolox-Ä/100 g

Die Methoden (Tabelle 2.11) basieren entweder auf einer einzelnen Elektronen Transfer Reaktion (Single Electron Transfer, SET) oder einer H-Atom Transfer Reaktion (Hydrogen Atom Transfer, HAT). Bei den SET-basierten Methoden wie FRAP und TEAC werden Antioxidantien durch Oxidationsmittel wie zum Beispiel Fe (III) oder ABTS<sup>+</sup> oxidiert. Als Folge davon wird ein einzelnes Elektron vom Antioxidantien-Molekül zum Oxidationsmittel transferiert. Die Absorptionsveränderung wird entweder vom Antioxidans oder vom Oxidationsmittel mit Hilfe eines UV-VIS Spektrometers gemessen. Dieser Wert dient der Bewertung des Reduzierungsvermögens des Antioxidans.

Die HAT-basierten Methoden wie ORAC und TRAP wenden einen Radikal-Initiator an, um ein Peroxylradikal ROO<sup>•</sup> zu erzeugen. Das Peroxylradikal entzieht vorzugsweise dem Antioxidans ein H-Atom. Als Ergebnis davon wird die Reaktion zwischen dem Peroxylradikal und dem Zielmolekül verlangsamt oder verhindert [Ou et al., 2002].

### 2.6.2 Antioxidative Kapazität von Gemüse

Es gibt zahlreiche Studien, die mittels einer oder mehrerer Methoden die totale antioxidative Kapazität von frischen Gemüsearten und Früchten untersucht haben, um eine Rangfolge zu erhalten [Ou et al., 2002; Pellegrini et al., 2003]. Weiters gibt es auch einige Arbeiten, die industriell bearbeitete Gemüseprodukte auf ihren Antioxidantiengehalt analysiert haben, wie z.B. tiefgefrorene Erbsen [Akesson et al., 2004]. Auch verschiedene industriell gefertigte Gemüseprodukte einer Gemüsesorte wurden bereits auf deren totale antioxidative Kapazität geprüft [Hunter und Fletcher, 2002].

Prior et al. [1996] untersuchten 22 verschiedene Gemüsesorten und bestimmten mittels ORAC deren antioxidative Kapazität gegen Peroxyl- und Hydroxyl-Radikale. Die höchsten antioxidativen Kapazitäten gegen Peroxyl-Radikale zeigten, in absteigender Reihenfolge, Knoblauch, Kohl, Spinat und Kohlsprossen mit Werten von 19–10  $\mu\text{m Trolox}\ddot{\text{A}}/\text{g}$  Frischgewicht (FG), die geringsten Kapazitäten wurden hingegen in Sellerie und Gurken (0.6–0.5  $\mu\text{m Trolox}\ddot{\text{A}}/\text{g}$  FG) festgestellt. Gegenüber Hydroxyl-Radikalen wiesen jedoch Kohl, Kohlsprossen, Alfalfa-Sprossen (Luzerne) und Broccoli in einem Wertebereich von 6–3  $\mu\text{m Trolox}\ddot{\text{A}}/\text{g}$  FG die höchsten antioxidativen Kapazitäten auf, im Unterschied dazu enthielten Zwiebeln (0.5  $\mu\text{m Trolox}\ddot{\text{A}}/\text{g}$  FG), Sellerie und Gurken (0.3  $\mu\text{m Trolox}\ddot{\text{A}}/\text{g}$  FG) die niedrigsten Kapazitäten.

Da die chemischen Methoden auf unterschiedlichen Reaktionsmechanismen basieren, wurden bei einigen Studien zwei oder drei verschiedene Methoden zur Messung der antioxidativen Kapazität angewendet, um vergleichbare Werte für dieselben Proben zu erhalten. Ou et al. [2002] untersuchten 13 verschiedene, gefriergetrocknete Gemüsearten und erhielten mit den angewandten Methoden ORAC und FRAP sehr unterschiedliche Ergebnisse. Die Werte der ORAC-Bestimmung lagen im Bereich von 19–154  $\mu\text{m Trolox}\ddot{\text{A}}/\text{g}$ , wobei die geringste antioxidative Kapazität in grünen Erbsen (19  $\mu\text{m Trolox}\ddot{\text{A}}/\text{g}$ ) und die höchste in grünem Paprika (154  $\mu\text{m Trolox}\ddot{\text{A}}/\text{g}$ ), Spinat (152  $\mu\text{m Trolox}\ddot{\text{A}}/\text{g}$ ) und rotem Zwiebel (143  $\mu\text{m Trolox}\ddot{\text{A}}/\text{g}$ ) detektiert wurde. Im Vergleich dazu lagen die Werte der FRAP-Bestimmung zwischen 6 und 185  $\mu\text{m Trolox}\ddot{\text{A}}/\text{g}$ . Die geringste antioxidative Kapazität wurde wieder in grünen Erbsen (6  $\mu\text{m Trolox}\ddot{\text{A}}/\text{g}$ ) festgestellt, die höchste hingegen in rotem Paprika (185  $\mu\text{m Trolox}\ddot{\text{A}}/\text{g}$ ), grünem Paprika (157  $\mu\text{m Trolox}\ddot{\text{A}}/\text{g}$ ) und Roter Beete (86  $\mu\text{m Trolox}\ddot{\text{A}}/\text{g}$ ).

Pellegrini et al. [2003] untersuchten Lebensmittel, Getränke und Öle, die in Italien üblicherweise konsumiert werden, mittels TEAC, TRAP und FRAP auf deren antioxidative Kapazität. Die Ergebnisse zeigten deutliche Unterschiede zwischen den 34 Gemüsearten und den angewandten Bestimmungsmethoden. Spinat zeigte beispielsweise bei FRAP und TEAC die jeweils höchste antioxidative Kapazität auf, hingegen rangierte Spinat bei TRAP in der Gesamtreihung der Gemüsesorten auf Platz 8, wobei der höchste TRAP-Wert für Spargel bestimmt wurde. Die zweit- und dritthöchste antioxidative Kapazität wurde mittels FRAP in Chili und rotem Paprika ermittelt, mittels TEAC war die Reihenfolge dieser zwei Gemüse genau umgekehrt. Die TRAP-Methode evaluierte im Gegensatz dazu Rote Beete als Gemüse mit der zweithöchsten antioxidativen Kapazität und Artischocke als dritthöchste. Die Ergebnisse von FRAP korrelierten am Besten mit den TEAC-Werten.

Die meisten Gemüsearten werden häufig thermisch behandelt oder gekocht, bevor sie konsumiert werden. Es ist bekannt, dass thermische Prozesse zu signifikanten Veränderungen der chemischen Zusammensetzung führen, welche die Konzentration und Bioverfügbarkeit der bioaktiven Substanzen beeinflussen [Pellegrini et al., 2008; Ismail et al., 2004; Velioglu et al., 2005].

Pellegrini et al. [2008] untersuchten die Auswirkungen verschiedener Zubereitungsarten (Kochen, Dämpfen, Braten) auf die Gehalte antioxidativer Substanzen und physicochemischer Parameter in Karotten, Zucchini und Broccoli mittels TEAC, TRAP und FRAP. Die Ergebnisse zeigten, dass beim Kochen in Wasser die antioxidativen Komponenten, besonders Carotinoide, in allen untersuchten Gemüsearten besser erhalten wurden. Vitamin C wurde ebenfalls in gekochten Karotten und Zucchini gut erhalten. Im Vergleich zu gekochtem Gemüse behielt gedämpftes Gemüse eine bessere Textur, wobei das gekochte Gemüse eine begrenzte Verfärbung aufwies. Gebratenes Gemüse zeigte den geringsten Erweichungsgrad, auch wenn es die antioxidativen Substanzen in geringerem Ausmaß enthielt. Es wurde eine allgemeine Zunahme der TEAC, FRAP und TRAP-Werte in allen gekochten Gemüsesorten im Vergleich zum Rohzustand beobachtet, vermutlich aufgrund der Matrixerweichung und der damit erhöhten Extraktionsfähigkeit von Substanzen, die teilweise in antioxidativ wirksamere Spezies umgewandelt werden können. Die Ergebnisse der TEAC, FRAP und TRAP-Bestimmung zeigten die höchsten Werte der antioxidativen Kapazität bei gebratenen Karotten und Zucchini, hingegen wurden die höchsten Werte in Broccoli mittels Dämpfen erzielt.

## 2.7 Erbsenprodukte

Um Lebensmittel von hoher Qualität zu erhalten, sind die bereits erwähnten Vorernte-, Ernte- und Nacherntefaktoren zu beachten.

Botanisch gesehen werden die unreifen Erbsen, die industriell konserviert werden, zum Fruchtgemüse gezählt. Im Gegensatz dazu zählen die reifen Erbsen zum Samengemüse. Für unreife Erbsen wird ein hoher Zuckergehalt, ein niedriger Stärkegehalt [Lee, 1989] und die Zartheit [Deshpande und Adsule, 1998] als Qualitätsmerkmal angesehen.

Für das Tiefgefrieren besonders geeignet sind Markerbsen (runzelige Schale) mit dunkelgrünen oder kräftig grünen, mittelgroßen Samen mit hohem Zuckergehalt, die auch beim Erreichen der vollen Größe noch zarte Schalen und Keimblätter behalten. Hingegen ergeben Palerbsen (harte Schale) kein gutes Tiefgefrierprodukt, zumal die Härte der Schalen nach dem Auftauen noch stärker in Erscheinung tritt [Herrmann, 1996].

Bei der Produktion von Erbsen für die Konservierungsindustrie sind folgende Faktoren zu beachten.

### 2.7.1 Vorerntefaktoren

- Erbsen bevorzugen ein kühles und feuchtes Klima mit einem Temperaturbereich von 7–21°C. Erbsenpflanzen können auf verschiedenen Böden wachsen, doch am



Besten gedeihen sie auf Tonerdeböden oder sandigen Lehmböden, die reich an Kalk sind.

- Vor der Aussaat wird der Boden mit Phosphor und Kalium gedüngt. Abhängig vom natürlich vorhandenen Stickstoffgehalt des Bodens, kann dem Dünger eine geringe Menge an Stickstoff zugegeben werden [Deshpande und Adsule, 1998].

### 2.7.2 Erntefaktoren

- Mit Berechnung der Wärmesumme lassen sich Erntevoraussagen machen. Die einzelnen Sorten brauchen für die Reife eine spezifische Wärmesumme, die sich durch Tagesmitteltemperaturen berechnen lassen [Schnitzler, 2002].
- Früher wurde der optimale Reifegrad von Erbsen mittels dem Verhältnis von Fructose zu Glucose ermittelt [Berger, 2006].
- Physikalische Eigenschaften wie die Korngröße, das Korngewicht oder die Farbe der Erbsenkörner sind nicht für eine Reifegradprüfung zweckmäßig [Schnitzler, 2002].
- Im allgemeinen wird der geeignete Reifegrad der Erbsen für die Ernte mit folgenden Methoden ermittelt: (1) Tenderometer (bestimmt die Festigkeit bzw. den Zartheitsgrad), (2) Verhältnis Erbsen zu Hülsen, (3) Gehalt an alkoholunlöslichen Stoffen (AIS, Alcohol Insoluble Substances), (4) Stärkegehalt oder (5) Schwimmen in einer 5%igen Salzlösung, wobei gesunkene Erbsen für die Dosenkonservierung und schwimmende Erbsen für die Tiefgefrierkonservierung verwendet werden [Deshpande und Adsule, 1998].
- Die Tenderometer Werte, die spezifische Dichte und der Anteil an alkoholunlöslichen Stoffen erhöhen sich während der Reife und wirken sich negativ auf die sensorische Qualität aus. Eine verspätete Ernte bedingt somit Erbsen von verminderter Güte [Deshpande und Adsule, 1998]. In der Reifephase wird, wie bei Fruchtgemüse üblich, Stärke auf Kosten von Zucker (Fructose und Glucose) aufgebaut, im Unterschied zu Samengemüse, welches Zucker auf- und Stärke abbaut. Amylose und Amylopektin besitzen unterschiedliche physikalisch-chemische Eigenschaften und Veränderungen zwischen den Anteilen dieser beiden Stärkefraktionen beeinflussen die Zartheit, die Trocknung und unter Umständen die Textur von tiefgefrorenen Erbsen [Lee, 1989].

### 2.7.3 Nacherntefaktoren

Einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität hat die Zeitspanne zwischen Ernte und Verarbeitung, da bereits ab dem Abtrennen von der Mutterpflanze die ersten Verfallserscheinungen bei Erbsen eintreten [Berger, 2006]. Werden die Erbsen nach der Ernte und während des Transportes nicht bei ungefähr 0°C gekühlt, tendieren sie dazu einen Teil ihres Zuckers zu verlieren, der viel zu ihrem Geschmack beiträgt [Deshpande und Adsule, 1998]. Von der Ernte bis zur Tiefkühlung dürfen bei Erbsen maximal 90 Minuten vergehen [Herrmann, 1996].

Um das Gemüse weiter verarbeiten zu können, muss es industriell vorbereitet werden. Diese Prozessschritte umfassen das maschinelle Reinigen, Sortieren und Blanchieren:

1. **Reinigen:** Intensive Einwirkung von turbulierendem Reinigungswasser bewirkt eine oberflächliche Entfernung von Schmutz.
2. **Sortieren:** Für die Sortierung von Erbsen werden Trommelkalibriermaschinen verwendet. Dabei werden die Erbsen durch unterschiedlich große Sieb- oder Schlitzöffnungen im Trommelmantel sortiert. Weiters gibt es für Erbsen eine Flotationssortiermaschine, welche konservierungsreife Erbsen infolge von Dichteunterschieden in strömender Flüssigkeit abtrennt. So können die Qualitätsanforderungen an die Fertigprodukte erfüllt werden, da nur Verarbeitungsgüter mit gleichen Parametern weiterverarbeitet werden [Linke, 2004]. Je feiner die Klasse, desto kleiner die Erbse im Durchmesser [Massholder, 2009] (Tabelle 2.12).

Tabelle 2.12: *Übersicht über die Sortierungen bei grünen Erbsen [Herrmann, 1996]*

	Sortierung	Bezeichnung
Markerbsen und Palerbsen	1. Sortierung	Junge Erbsen, extra fein
	2. Sortierung	Junge Erbsen, sehr fein
	3. Sortierung	Junge Erbsen, fein
	4. Sortierung	Junge Erbsen, mittelfein
	5. Sortierung	Gemüseerbsen
Markerbsen	unsortiert	Junge Erbsen, extra zart

3. **Blanchieren:** Der Vorgang des Blanchierens dient der Qualitätserhaltung. Das übliche Blanchiermedium ist heißes Wasser, doch kann auch mittels Dampf oder auch in der Mikrowelle blanchiert werden [FAO, 2005]. Während des Blanchierprozesses werden die Erbsen im Blancheur für kurze Zeit im 95°C heißem Wasser abgebrüht [Bisovsky et al., 2004]. Für die Blanchierdauer von Erbsen in siedendem Wasser werden 1–2 Minuten angegeben [FAO, 2005; Herrmann, 1996].

Positive Wirkungen des Blanchierens:

- Der Blanchiervorgang dient der Enzyminaktivierung, um enzymatische Veränderungen bei der Verarbeitung und während der Lagerung zu reduzieren oder zu unterbrechen. Ziel ist die Inaktivierung der Ascorbatoxidasen, der Cellulasen, der Chlorophyllasen und der Lipoxygenasen sowie anderer Enzyme. Als Nachweis einer ausreichenden Hitzeeinwirkung werden meist Katalase oder Peroxidase als Indikatorenzyme festgelegt [Berger, 2006; Herrmann, 1996]. Da eine vollständige Inaktivierung der Peroxidase (POD) oft als ein Zeichen des Überblanchierens angesehen wird, wurde häufig bis auf eine Peroxidase-Restaktivität von 2–8% blanchiert [Herrmann, 1996]. Als weiteres Indikatorenzym wurde die Lipoxygenase (LOX) vorgeschlagen, da sich

damit die Lagerfähigkeit von tiefgefrorenem Gemüse signifikanter bestimmen lässt. LOX wird mit einer Qualitätsminderung assoziiert, da es an der Produktion von Fremdgeruch und unerwünschten Aromaabweichungen beteiligt ist. Gökmen et al. [2005] untersuchten die Aktivitäten von Lipoxygenase und Peroxidase in grünen Erbsen unter verschiedenen Blanchierbedingungen und stellten fest, dass POD hitzestabiler als LOX ist. Weiters scheint das Blanchieren bis zur Inaktivierung von POD anstelle von LOX notwendig zu sein, um die Qualität von Vitamin C und Chlorophyll-hältiger Pigmente während der Tiefkühl-Lagerung zu erhalten. Die Ergebnisse der Studie deuten daraufhin, dass eine Blanchierdauer von 2 Minuten bei 80°C eine POD-Inaktivierung von 90% in grünen Erbsen bewirkt und die Qualitätsparameter wie Vitamin C und Chlorophyll-Pigmente während einer Lagerdauer von 12 Monaten bei -18°C erhalten bleiben [Gökmen et al., 2005].

- Blanchieren dient der Freisetzung von Luft aus Interzellularräumen, wodurch es zu einer geringeren Oxidation während der Lagerung kommt [Berger, 2006].
- Weiters kommt es zu einer gründlichen Reinigung der Ware, welche eine Keimzahlverminderung auf der Oberfläche bewirkt [Bisovsky et al., 2004].
- Unangenehme flüchtige Geruchs- und Geschmacksstoffe werden entfernt.
- Außerdem kommt es zu einer Texturveränderung des pflanzlichen Gewebes, da z.B. die Proteine denaturiert werden und das Gemüse durch Abgabe von Wasser schrumpft. Folglich lässt sich das Gemüse platz sparend verpacken.
- Ein sachgemäßer Blanchierprozess führt zu einer positiven Farberhaltung in grünen Gemüsearten, da nur ein geringer Teil des Chlorophylls in Phäophytin umgewandelt wird. Bei unzureichender Hitzeeinwirkung hingegen kommt es zu unerwünschten Farbveränderungen bei der nachfolgenden Lagerung.

#### Negative Wirkungen des Blanchierens:

- Andererseits kommt es beim Blanchieren zu erheblichen Verlusten an Ascorbinsäure, die von der Gemüseart und vom Zerkleinerungsgrad abhängig sind und im Durchschnitt mit 24–35% angegeben werden [Herrmann, 1996].
- Der Verlust an Vitamin C erfolgt hauptsächlich durch den chemischen Abbau, der die Oxidation von L-Ascorbinsäure zu Dehydroascorbinsäure bedingt, gefolgt von der Hydrolyse zu 2,3-Diketogulonsäure. In weiterer Folge werden durch Polymerisation andere inaktive Produkte geformt. Da bekannt ist, dass Hitze den Oxidationsprozess von L-AA fördert, resultiert eine thermische Behandlung in einem Verlust von Vitamin C in Früchten und Gemüse [Dewanto et al., 2002].

Nach dem Blanchieren wird das Gemüse möglichst schnell im kalten Wasserbad kurz abgespült, damit die frische Farbe, der Geschmack und die Konsistenz weitgehend erhalten bleiben [Bisovsky et al., 2004]. Anschließend erfolgt die weitere produktspezifische Verarbeitung.

## 2.8 Tiefgefrieren — Tiefgefrorene (TK) Erbsen

### 2.8.1 Definition

Wenn ein Lebensmittel eine Produkttemperatur von  $-18^{\circ}\text{C}$  oder tiefer erreicht hat und diese vom Einfrieren bis zum Verkauf aufrechterhalten wird, spricht man von einem tiefgefrorenen Lebensmittel [FAO, 2005; Heiss und Eichner, 1995].

### 2.8.2 Wirkungsmechanismen

Der Prozess der Gefrierkonservierung besteht aus dem Gefrieren, der Gefrierlagerung und dem Auftauen, wobei hier für jeden Prozessschritt spezifische Anforderungen zu beachten sind. Die konservierende Wirkung beruht einerseits auf der Temperatur– als auch auf der aw–Wert–Senkung. Die Umwandlung des Wassers in Eis erfolgt durch die Anwendung tiefer Temperaturen (Kerntemperatur  $< -18^{\circ}\text{C}$ , Gefriergeschwindigkeit  $> 1\text{cm/h}$ ). Dies bewirkt zum einen eine starke Zellschädigung der Mikroorganismen und zum anderen wird diesen das für die Stoffwechselvorgänge benötigte frei bewegliche Wasser entzogen. Das Reaktionsgeschehen im Lebensmittel und die damit verbundenen chemischen Verderbsprozesse werden somit verringert. Eine absolute Sterilität kann nicht erreicht werden, da den Gefrierprozess in Gemüse 30–70% und bei Obst 5–10% der Ausgangskeime überleben [Kunis, 2004; Linke, 2004].

Sowohl das Tiefgefrieren als auch das Auftauen können das Aussehen und die Konsistenz des Gemüses verändern, weswegen sich all jene Gemüsearten zum Tiefgefrieren eignen, die beim Zubereiten ohnehin eine Veränderung des Aussehens und der Konsistenz erleiden. Stärkehaltige Gemüse wie Erbsen verändern sich weniger stark als stärkefreie [Herrmann, 1996].

### 2.8.3 Technologie der Produktion von TK–Erbsen

Der industrielle Ablauf der Herstellung von TK–Erbsen besteht aus den Schritten Waschen, Sortieren, Blanchieren, Kühlen, Gefrieren, Verpacken und Lagern. Aufgrund der günstigen Wärmeübertragungsbedingungen hat das Fließbettgefrieren von unverpackten stückigen Gütern bis 40 mm Durchmesser und 125 mm Länge eine verbreitete Anwendung gefunden. In einer Fließbettgefrieranlage gelangt das Gut durch einen Schwingförderer in 120–150 mm dicker Schicht auf den perforierten Trogboden. Anschließend wird es von der aufwärtsströmenden Kaltluft in einen Schwebезustand versetzt und führt eine horizontale Fließbewegung aus, solange die Zufuhr des Gutes anhält. Für kleine Produkte wie Erbsen eignet sich aber auch das Wirbelbettgefrieren als Gefrierverfahren. Dabei werden die Erbsen in einem Kaltluftstrom bei einer Lufttemperatur von  $-25^{\circ}\text{C}$  bis  $-40^{\circ}\text{C}$  schwebend gefroren [Linke, 2004; Kunis, 2004]. Bei  $-34^{\circ}\text{C}$  liegt die Gefrierzeit für Erbsen zwischen 3 bis 4 Minuten [Heiss und Eichner, 1995].

Nach dem Tiefgefrieren erfolgt das Verpacken mittels vorgefertigter Faltschachteln oder wasserdampfdichten Plastikbeuteln und anschließendes Sammelverpacken und Palettisieren [Linke, 2004]. Im Anschluss daran findet die Gefrierlagerung bei einer konstan-

ten Lufttemperatur von  $< -18^{\circ}\text{C}$  und einer relativen Luftfeuchte von möglichst 100% statt. Die Gefrierlagerfähigkeit von Erbsen liegt bei  $-18^{\circ}\text{C}$  bei 18 Monaten, bei  $-25^{\circ}\text{C}$  und  $-30^{\circ}\text{C}$  bei 24 Monaten [Kunis, 2004].

## **2.8.4 Auswirkungen des Tiefgefrierens auf die Lebensmittelqualität**

### **2.8.4.1 Einfluss der Gefrier- und Lagertemperatur**

Bei vielen Lebensmitteln wirkt sich die Gefriereschwindigkeit auf die mikroskopische Struktur und damit auf die Qualität der Produkte aus. Bei einer hohen Gefriereschwindigkeit werden kleine Eiskristalle, bei niedriger Geschwindigkeit große Eiskristalle gebildet. Letztere führen zur Zerstörung des Zellgewebes, wodurch beim Auftauen der Zellsaft mit den gelösten Inhaltsstoffen wie Vitaminen und Mineralstoffen verloren geht [Bisovsky et al., 2004; Berger, 2006]. Erbsen gehören zu derjenigen Lebensmittelgruppe, deren Qualität nicht durch die Gefriereschwindigkeit beeinflusst wird [Kunis, 2004].

Die Vitaminverluste während des Gefrierprozesses sind gering, jedoch kommt es während der Gefrierlagerung zu erheblichen Verlusten an empfindlichen Vitaminen. Die Temperatur und die Dauer spielen hierbei eine große Rolle. Sind bei  $-30^{\circ}\text{C}$  selbst bei längerer Lagerung keine Verluste zu erwarten, so sind bei  $-18^{\circ}\text{C}$  die Vitaminverluste stark von der Lagerungsdauer abhängig. Enthielten Erbsen nach 6 Monaten bei  $-19^{\circ}\text{C}$  noch 80% des ursprünglichen Vitamin C Gehaltes, so waren es nach 12 Monaten nur mehr ca. 65%. Hingegen wurden bei  $-9^{\circ}\text{C}$  gelagerten Erbsen bereits nach 6 Monaten nur mehr die Hälfte des Vitamin C Ausgangswertes ermittelt [Timm, 1996a].

### **2.8.4.2 Einfluss der Verpackung**

An die Verpackung tiefgefrorener Lebensmittel werden viele Anforderungen gestellt, wie z.B.: Das Material soll bis  $-40^{\circ}\text{C}$  beständig, chemisch indifferent und stabil sein und für Wasserdampf und Sauerstoff undurchlässig. Weiters soll es wasserdicht, fettundurchlässig und widerstandsfähig gegen schwache Säuren sein sowie das Produkt eng umschließen, sodass möglichst wenig Luft eingeschlossen wird. Gemüse wird soweit wie möglich lose gefroren und erst anschließend in Faltschachteln oder für größere Mengen in Kunststoff-Beuteln verpackt [Timm, 1996b].

### **2.8.4.3 Auswirkungen des Tiefgefrierens**

Durch das Tiefgefrieren wird die durch Chlorophyll bestimmte grüne Farbe von Lebensmitteln sehr gut erhalten, sodass sich aufgetaute Produkte farblich von frischen kaum unterscheiden. Diese intensiv-grüne Farbe hängt mit der beim Blanchieren verdrängten Luft zusammen, wodurch Licht anders reflektiert wird. Wenn jedoch unter ungünstigen Bedingungen gelagert wird, kann es zu einer Farbveränderung durch die Umwandlung von Chlorophyll in Phäophytin kommen. Hierbei wird das ursprüngliche Zentralatom Magnesium durch Wasserstoff ersetzt und die Farbe schlägt von Blaugrün nach Olivgrün um [Herrmann, 1996].

### 2.9 Hitzesterilisation — Sterilkonserven

Ziel der Hitzesterilisation ist die Beseitigung pathogener und toxinbildender Keime und Mikroorganismen (MO), sowie die Inaktivierung aller Enzyme um den Zustand der praktischen Sterilität zu erreichen. Sterilkonserven lassen sich aufgrund des pH-Wertes in folgende Produktgruppen einteilen:

- Nicht saure Produkte:  $\text{pH} > 5.5$  (Erbsen, Bohnen, Spinat, Spargel)
- Schwach saure Lebensmittel:  $\text{pH} > 4.5$  bis  $5.5$  (Karotten, Sellerie)
- Saure Lebensmittel:  $\text{pH}$  3.7 bis 4.5 (Tomaten, Marillen, Birnen)
- Stark saure Produkte:  $\text{pH} < 3.7$  (Orangensaft, Sauergemüse, Zitronensaft)

Angesichts des schwach sauren pH-Wertes bieten besonders die ersten beiden Gruppen ausreichende Möglichkeiten für das Wachstum pathogener Keime.

#### 2.9.1 Definition

Thermisches Konservieren bewirkt das Abtöten von MO durch gezielte Einwirkung von höheren Temperaturen mit dem Ziel, eine längere Haltbarkeit der Güter zu erreichen.

**Pasteurisieren.** Anwendung von Temperaturen von unter  $100^\circ\text{C}$  und eine Vernichtung der vegetativen einschließlich der pathologischen Keime.

**Sterilisieren.** Anwendung von Temperaturen von über  $100^\circ\text{C}$  und die Abtötung aller Keime einschließlich der hitzeresistenten Bakteriensporen.

#### 2.9.2 Wirkungsmechanismen

Um das Prozessziel der thermischen Konservierung, den Zustand der „kommerziellen Sterilität“ zu erreichen, sind folgende Mechanismen zu beachten:

Der *D-Wert* (Destruktionswert) gibt die Zeit in Minuten an, die notwendig ist, um bei einer konstanten Temperatur 90% der vegetativen Keime oder Sporen einer bestimmten Art abzutöten (um eine Zehnerpotenz).

Der *z-Wert* charakterisiert das Abtötungsverhalten von Mikroorganismen, und ist definiert als jene Temperaturerhöhung, die bei einer Sterilisation nötig ist, um den D-Wert auf ein Zehntel zu reduzieren.

Der *Letalitätswert*  $F$  gibt den Abtötungseffekt während einer einminütigen Hitzeeinwirkung bei einer bestimmten Bezugstemperatur auf eine Mikroorganismen-Population mit definierter Hitzeresistenz an [Winkler, 2004].

Der *Sterilisationswert*  $F_0$  entspricht der Sterilisationszeit  $t$  bei der Bezugstemperatur von  $121.1^\circ\text{C}$ . Als Bezugskeim wurde die sehr hitzeresistente Keimart *Clostridium botulinum* gewählt, da sie ein Gift mit einer sehr hohen Letalitätsrate erzeugen. Um eine „kommerzielle Sterilität“ von Füllgütern mit einem pH-Wert von  $>4.5$  zu erreichen,

ist eine Reduzierung dieser Keime um 12 Zehnerpotenzen (12-D-Prozess) erforderlich [Heiss und Eichner, 1995].

Der D-Wert dieser Sporenart wurde mit 0.21 min bei 121.1 °C ermittelt, mit einem z-Wert von 10°C. Dies entspricht einer Sterilisierzeit von  $F_0 = 2.52$  min ( $12 \times 0.21$ ) bei 121.1°C [Winkler, 2004]. Aus Sicherheitsgründen werden für Gemüse  $F_0$ -Werte von 5 Minuten angewendet [Ahmed und Shivare, 2006].

Die Kinetik der mikrobiellen Zerstörung und der qualitativen Verminderung finden jedoch nicht im gleichen Ausmaß statt. Studien haben gezeigt, dass die thermische Abtötungsrate von Bakterien mit zunehmender Temperatur um einiges schneller abläuft als die Reaktionen, die zu einer Qualitätsminderung führen würden [Ahmed und Shivare, 2006].

### 2.9.3 Technologie der Produktion von Sterilkonserven

Der industrielle Ablauf der Herstellung von Sterilkonserven besteht aus den Schritten Trockenreinigen, Waschen, Sortieren, Blanchieren, Kühlen, Abfüllen, Zufüllen von Aufgussflüssigkeit, Verschließen, Sterilisieren, Kühlen, Etikettieren und Verpacken.

Die Verfahrensschritte Reinigen, Waschen, Sortieren und Blanchieren sind dieselben Abläufe wie für die Tiefkühlung und wurden bereits beschrieben. Nach dem Blanchieren und dem Abkühlen wird das Gemüse in die Verpackungsbehälter gefüllt.

#### 2.9.3.1 Verpackungsmaterial

**Weißblech.** Stahlblech wird durch eine Auflage aus Zinn oder Chrom zu Weißblech veredelt. Lebensmitteldosen bestehen aus drei Teilen, nämlich Rumpf, Boden und Deckel. Zunächst wird der Rumpf geformt und die Nähte verschweißt. Die nur 0.14 mm dünne Blechwand wird mit engen, umlaufenden Rillen stabilisiert. Danach wird der Boden aufgefaltet und, nach erfolgreicher Prüfung auf Dichtigkeit, befüllt und verschlossen. Weißblechdosen halten somit qualitätsmindernde Einflüsse wie Schmutz, Schädlinge, Bakterien sowie Feuchtigkeit, Sauerstoff, Licht, Fremdgerüche oder Druck von außen ab [IZW, 2004].

**Glas.** Ein Konservenglas oder eine Flasche mit einem entsprechenden Verschluss bietet eine inerte, luftdichte, beständige und transparente Verpackung und ist für verarbeitetes Gemüse gut geeignet. Glasbehältnisse, die für sterilisierte schwach saure Lebensmittel wie Gemüse verwendet werden, werden mit Vakuum und luftdichten Verschlüssen versiegelt. Die für gewöhnlich verwendeten Verschlüsse sind der Pry-Off (side seal), der lug type (Twis-Off) und der PT-Verschluss (Press-On Twist-Off) [Ramaswamy und Chen, 2003].

### 2.9.3.2 Aufgussflüssigkeit

Die Aufgussflüssigkeit wird heiß zugegeben und besteht aus Wasser mit unterschiedlichen Mengen an Salz und Zucker, gelegentlich Aromazusätze, jedoch keine Konservierungsmittel. Das Ziel beim Abfüllen ist eine möglichst dichte Packung des Füllgutes mit nur soviel Aufgussflüssigkeit wie notwendig.

### 2.9.3.3 Verschlussprozess

Im Anschluss an die Befüllung werden die Dosen oder Gläser verschlossen, wobei der Fokus auf der Erzeugung eines Vakuums innerhalb dieser Behältnisse liegt. Für die Entstehung dieses Vorvakuums gibt es drei Möglichkeiten: (1) durch Heißabfüllung, (2) durch Kaltabfüllung und Bedampfung des Kopfraumes oder (3) durch mechanisches Beseitigen der Luft während des Verschließens [Ramaswamy und Chen, 2003]. Nach dem Verschlussprozess ist kein Gasaustausch mehr möglich. Folgende Punkte begründen die Notwendigkeit eines Dosenvakuums:

- Erhöhung der Anpresskraft des Verschlusses auf dem Gefäß
- Reduzierung des Doseninnendruckes beim Sterilisieren
- Verringerung des Sauerstoffgehaltes im Kopfraum und Füllgut
- Indikator für den verzehrfähigen Zustand des Doseninhaltes

Der Verschlussprozess kann mittels Verschließautomaten (bis 15000 Dosen/h) oder Vakuumverschließmaschinen (bis 4000 Dosen/h) durchgeführt werden, wobei die Verschließköpfe in einem Rundlaufsystem angeordnet sind.

- Blechdosen erhalten einen Falzverschluss
- Glasdosen erhalten entweder einen Aufdruckverschluss oder einen Schraubverschluss (Twist-off-Verschluss) [Linke, 2004].

### 2.9.3.4 Hitzesterilisation

Die Dosen werden nach dem Füllungs- und Verschlussvorgang stark erhitzt, um die sichere Abtötung der Verderbnis hervorruhenden Mikroorganismen zu erzielen. Um die essentiellen Inhaltsstoffe (Vitamine B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C, Farbstoffe) weitestgehend zu erhalten, werden hohe Temperaturen und kurze Reaktionszeiten eingesetzt. Für Produkte mit einem pH-Wert <4.5 liegt die Haltetemperatur bei 90–95°C, für Gemüsekonserven mit einem pH-Wert >4.5 liegt sie bei 118–125°C [Linke, 2004]. Beim Sterilisieren kommt es infolge von Quellung, Wärmeausdehnung (5%) und Dampfdruck zu einem hohen Doseninnendruck. Da Glas einen geringeren Wärmeausdehnungskoeffizienten gegenüber Stahl aufweist, muss bei Glaskonserven eine Kopfraumeinstellung von ca. 8% berücksichtigt werden. Blechdosen können hingegen randvoll gefüllt werden [Linke, 2004].



## 2.9.4 Auswirkungen der Hitzesterilisierung auf die Lebensmittelqualität

### 2.9.4.1 Einfluss der Temperatur

Die angewandten hohen Temperaturen haben einen großen Einfluss auf den Geschmack, die Farbe, die Textur und die Nährstoffe.

Das Ausmaß der grünen Farbe ist wichtig für die Bestimmung der endgültigen Qualität von hitzebehandelten grünen Gemüsearten, deren grüne Farbe von Chlorophyll-Pigmenten stammt. Chlorophyll *a* und Chlorophyll *b* finden sich üblicherweise in höheren Pflanzen, die im Allgemeinen als Lebensmittel verwendet werden, und kommen im Verhältnis 3:1 vor. Beide Pigmente enthalten Magnesium und sind Derivate des Tetrapyrrols Phorbin. Strukturell unterscheiden sie sich am C-3 Kohlenstoff, an dem Chlorophyll *a* eine Methylgruppe und Chlorophyll *b* eine Formylgruppe besitzt. Des weiteren unterscheiden sie sich auch in der Farbwahrnehmung und thermischer Stabilität. Chlorophyll *a* erscheint blau-grün und Chlorophyll *b* gelb-grün. Während des Hitzeprozesses wird das zentrale Magnesium-Ion des Chlorophyllringes durch zwei Wasserstoff-Ionen ersetzt und das leuchtende Chlorophyll-Grün in Olivgrünes/Olivbraunes Phäophytin umgewandelt [Steet und Tong, 1996]. Diese Farbumwandlung wird durch den erhitzungsbedingten pH-Abfall verstärkt [Heiss und Eichner, 1995].

Die Struktur der Lebensmittel wird durch den thermischen Prozess verändert. Hitzesterilisiertes Gemüse wird weicher, abhängig vom Auflösungsgrad des pflanzlichen Zellmaterials [Ahmed und Shivare, 2006].

Zahlreiche Studien untersuchten den Einfluss der Sterilisation auf die Nährwerte von grünen Erbsen. Die Studie von [Lee, 1989] ergab, dass der thermische Prozess zu einer signifikanten Abnahme von Ascorbinsäure, Thiamin und Niacin führte, während Riboflavin, Carotin und Vitamin B<sub>6</sub> relativ unbeeinflusst blieben.

Die Aktivitätsverluste von Carotinoiden bei milder Hitzebehandlung waren gering, doch treten bei längerer Hitzebehandlung oder Hitzesterilisierung Aktivitätsverluste von mehr als 30% auf, die durch Isomerisierung, Oxidation und Zyklisierung bedingt sind [Bässler et al., 2002].

Obwohl Mineralstoffe in Gemüse allgemein als stabil betrachtet werden, wurden signifikante Verluste von Magnesium (14%), Phosphor (10%) und Kalium (14%) beobachtet. Eisen und Calcium blieben hingegen unverändert [Lee, 1989].

Die Literaturangaben bezüglich der Wirkstoffverluste weichen stark voneinander ab, da Blanchierverluste unterschiedlich miteinbezogen wurden.

### 2.9.4.2 Einfluss der Verpackung

Ob der eingeschlossene Sauerstoff einen Einfluss auf die Qualität hat, wurde beim Sterilisiervergleich von grünen Bohnen untersucht: Wurde unter Sauerstoffausschluss bei 121°C sterilisiert betrug der Vitamin C Abfall 21%, wobei auch bei der eintägigen Nachlagerung bei 21°C keine Verluste ermittelt wurden. Beim konventionellen Abfüllen mit Sauerstoffzutritt hingegen betrug der Vitamin C Abfall 45% beim Sterilisieren. Der Gesamtverlust an Vitamin C innerhalb eines Tages bei 21°C betrug 82%. Da Glaskonserven

einen bestimmten Kopfraum benötigen, sind sie hinsichtlich einer Qualitätsbeeinflussung durch Sauerstoff ungünstiger als Blechkonserven [Heiss und Eichner, 1995].

### 2.9.4.3 Einfluss der Lagerung

Bestimmte Qualitätsfaktoren von hitzesterilisierten Erbsen verändern sich während der Lagerung, abhängig von der Temperatur. Wurden Erbsen bei 38°C gelagert, so verschlechterte sich die sensorische Qualität viel schneller, als bei niedrigen Temperaturen. Die Lagertemperatur sollte deswegen unter 20°C liegen.

Aber auch die Lagerdauer spielt eine große Rolle. So wurden beispielsweise Erbsen bei 10 bis 27°C für 12 Monate gelagert. Die Verluste von Thiamin betrugen 7 bis 27% und von Riboflavin 7 bis 18%. Die Minderung von Ascorbinsäure lag bei 6 bis 16%. Nur der Verlust an Carotinoiden war mit 2 bis 9% minimal [Lee, 1989].

Eine andere Studie ermittelte die Vitaminkonzentrationen nach zweijähriger Lagerung bei 18°C. So haben hitzesterilisierte Gemüsekonserven durchschnittlich 20% ihres Vitamin B<sub>1</sub>, 26% ihres Vitamin B<sub>2</sub> und 7% ihres Niacingehaltes verloren. Der Vitamin C Verlust nach einem Jahr beträgt rund 7%, nach zwei Jahren 13% [Heiss und Eichner, 1995].

## 3. Material und Methoden

### 3.1 Material

#### 3.1.1 Probenumfang

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden insgesamt 25 Erbsenprodukte untersucht. Dabei handelte es sich um 1 Frische Zuckererbsen-Sorte, 2 Frische Zuckerschotenerbsen-Sorten, 10 Tiefkühlerbsen-Sorten, 8 Dosenerbsen-Sorten und 4 Glaserbsen-Sorten, die auf ihren Vitamin C Gehalt, Carotinoidgehalt sowie ihre totale antioxidative Kapazität untersucht wurden. Sämtliche Analysen wurden in Doppelbestimmung durchgeführt.

Die Produkte (Tabelle 3.1) wurden im Zeitraum von Mai–Dezember 2007 in mehreren regionalen Supermarktketten, einem Bio-Supermarkt und im Juli 2009 bei einem offenen Gemüsewarenstand am Naschmarkt (Österreichische Erbsen) gekauft.

#### 3.1.2 Untersuchungsparameter

Folgende Parameter wurden in den Erbsen untersucht:

- Vitamin C
  - Gesamtascorbinsäure (T-AA, Total Ascorbic Acid)
  - L-Ascorbinsäure (L-AA, L-Ascorbic Acid)
  - Dehydroascorbinsäure (DHAA, Dehydro Ascorbic Acid)
- Carotinoide
  - Lutein
  - Zeaxanthin
  - Cryptoxanthin
  - $\alpha$ -Carotin
  - $\beta$ -Carotin
- Totale Antioxidative Kapazität
  - Wasserlösliche Phase
  - Wasserunlösliche Phase

Tabelle 3.1: *Produktzuweisung*

	<b>Art</b>	<b>Name</b>	<b>Sortierung</b>	<b>Herkunft</b>
A	Frisch	Naschmarkt	FrISChe Erbsen	AUT
B	ZS	Siam Fresh	FrISChe Erbsen	THA
C	ZS	Wabu Fresh	FrISChe Erbsen	KEN
D	TK	Spar Natur Pur	Erbsen	EU
E	TK	Spar	Erbsen	EU
F	TK	Denre (Bio)	Erbsen	DEU
G	TK	Iglo	Junge Erbsen	AUT
H	TK	Petter		
I	TK	Quality first	Junge Erbsen, fein	AUT
J	TK	Gartengold	Junge Erbsen	AUT
K	TK	Green Gold		
L	TK	Frenzel Frost	Junge Erbsen	AUT
M	TK	Gourmet Gold	Junge Erbsen, extra zart	DEU
N	Dose	Inzersdorfer	Erbsen, extra fein	AUT
O	Dose	Rege	Grüne Erbsen	HUN
P	Dose	Bonduelle	Junge Erbsen, fein	DEU
Q	Dose	Edeka	Junge Erbsen, sehr fein	DEU
R	Dose	Spar	Junge Erbsen	EU
S	Dose	Green Gold	Junge Erbsen, sehr fein	
T	Dose	Freshona	Junge Erbsen, extra fein	DEU
U	Dose	d’aucy	Junge Erbsen, sehr fein	FRA
V	Glas	Freshona		DEU
W	Glas	De Rit	Erbsen	NLD
X	Glas	Bio Nova	Erbsen, fein	NLD
Y	Glas	Schweizer	Junge Erbsen, fein	DEU
<b>FriscH</b> ... FrISChe Erbsen				
<b>ZS</b> ... Zuckerschoten–Erbsen				
<b>TK</b> ... Tiefkühlerbsen				
<b>Dose</b> ... Dosenerbsen				
<b>Glas</b> ... Glaserbsen				

### 3.1.3 Geräte und Labormaterial

#### Geräte

- Homogenisator, BÜCHI Mixer B-400
- Ultraschallbad, BANDELIN SONOREX RK 100
- Magnetrührer, HEIDOLPH MR 3001 K
- Vortex, HEIDOLPH REAX 2000
- pH-Meter, ORION pH meter model 420 A
- Wasserbad, Julabo U3
- Destillier-Gerät, Barnsted, EASYpure LF, compact ultrapure water system 18.3 MO-cm
- Kühlzentrifuge, Zentrifuge und Zentrifugenmaterial
- Kühlzentrifuge, RC5C Sorvall Instruments DU PONT; Rotor SS-34
- Zentrifugenmaterial
  - 50 ml Tube, SORVALL, PC, 29 x 102mm (QTY 25), Catalog No. 03146
  - Cap, SORVALL, Polypropylene, 28.7mm, (QTY 25), Catalog No. 03268

#### Labormaterial

- Laborwaage, Mettler, AT201
- Pipetten: THERMOLABSYSTEMS Finnpiquette®, 20–200 $\mu$ l, 100–1000 $\mu$ l, 1–10 ml, PLASTIBRAND Pipettenspitzen, PP, 2–200 $\mu$ l, 50–1000 $\mu$ l und 1–10 ml
- Spatel
- Bechergläser
- 100 ml Messkolben dunkel + Stopfen
- Messkolben 10 ml, 25 ml, 50 ml, 100 ml, 1000 ml + Stopfen
- Pyrexgläser
- 100 ml Scheidetrichter + Stopfen
- Glastrichter
- Faltenfilter
- 50 ml, 100 ml und 1l Messzylinder
- Dunkle Glasfläschen + Parafilm
- Eprouvetten
- Trockenschrank
- Wägegläser für die Trockensubstanzbestimmung
- Exikator

#### 3.1.4 Allgemeine Probenaufbereitung

Die für die Analyse vorgesehenen Proben wurden ca. 30 Sekunden bei Zimmertemperatur und unter Lichtausschluss homogenisiert. Das Homogenisat wurde danach in lichtundurchlässige Behälter überführt und ins Eisbad gestellt. Tiefkühlerbsen wurden vor dem Homogenisieren im Dunkeln im Kühlschrank für ca. ein bis zwei Stunden aufgetaut.

Es wurden jeweils ca. 120 g Probenmaterial für das Homogenisieren eingewogen und anschließend die Extrakte hergestellt. Die Carotinoid-Extrakte wurden in dunkle Fläschchen überführt, mit Stickstoff begast und bis zur Analyse bei  $-20^{\circ}\text{C}$  gelagert. Die Vitamin C-Extrakte wurden am Tag der Herstellung mittels HPLC analysiert. Die TAC-Extrakte wurden in dunkle Cups pipettiert, mit Stickstoff begast und bis zur Analyse bei  $-80^{\circ}\text{C}$  aufbewahrt.

#### 3.1.5 Untersuchungsmethode HPLC

Die Bestimmung der Vitamin C und Carotinoid-Konzentrationen erfolgte mittels HPLC (High Performance Liquid Chromatography). Die Trennung von Stoffgemischen basiert in der HPLC, wie bei jedem anderen chromatographischen Trennverfahren auch, auf Wechselwirkungen des Analyten mit einer stationären und mobilen Phase. Bei der HPLC befindet sich die stationäre Phase in einer Säule, durch welche die mobile Phase fließt.

Um eine quantitative Bestimmung durchzuführen, muss die Probe mit konstantem Druck und konstanter Geschwindigkeit durch die Säule transportiert werden. Während des Transportes durch die Säule verteilt sich die Probe zwischen der stationären und mobilen Phase. Die in der Probe enthaltenen Substanzen wandern ungleich schnell, da sie durch verschiedene Wechselwirkungen, aufgrund differenter Polaritäten, mit der stationären Phase unterschiedlich lang zurückgehalten werden. Daraus resultiert eine Auftrennung der Probe, welche sich auch in verschiedenen Retentionszeiten der einzelnen Komponenten wieder spiegelt.

### 3.2 Vitamin C

Die Bestimmung der Vitamin C Konzentrationen (TAA, L-AA und DHAA) erfolgte nach der von Stark [2005] modifizierten RP-HPLC/UV-Methode nach Furusawa [2001].

Um die Vitamin C Formen (TAA, L-AA und DHAA) bestimmen zu können, wurde zunächst die L-AA Konzentration ermittelt. In einer aliquoten Probe wurde dann der DHAA-Anteil zu L-AA reduziert und die Gesamtascorbinsäure-Konzentration (TAA) gemessen. Als Reduktionsmittel diente Tris [2-Carboxy-ethyl] Phosphin-Hydrochlorid (TCEP). Mittels Differenzmethode wurde der DHAA-Anteil indirekt ermittelt.

#### Reagenzien für die Probenaufbereitung

- Natriumacetat-Trihydrat, Fluka
- EDTA (Ethylendiamin-tetraessigsäure Di-Natriumsalz-2-hydrat), Riedel-de Häen

- TCA (Trichloroacetic acid), Riedel-de Häen
- Schwefelsäure, Fluka
- Essigsäure, Fluka
- Destilliertes Wasser, Eigene Herstellung
- TCEP (Tris [2-Carboxy-ethyl] Phosphin-Hydrochlorid), Sigma

### Reagenzien für die Vitamin C Analyse mittels HPLC

- Laufmittel
  - Acetonitril, Merck
  - 2% Essigsäurelösung, Eigene Herstellung
- Spülmittel
  - Destilliertes Wasser, Eigene Herstellung
  - Methanol, Merck
- Referenzsubstanz
  - L-Ascorbinsäure, Sigma

#### 3.2.1 Herstellung der verwendeten Lösungen und Laufmittel

##### Acetatpuffer (2M)

Zur Herstellung wurden 27.49 g Natriumacetat-Trihydrat in einem Becherglas eingewogen, mit 100 ml destilliertem Wasser aufgefüllt, mittels Magnetrührer gelöst und anschließend für 15 Minuten ins Ultraschallbad gestellt.

##### Extraktionslösung

Die Extraktionslösung setzte sich aus folgenden Reagenzien zusammen: 1 mM EDTA, 5% TCA, 0.3 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 10% Essigsäure ( $\text{pH} = 1$ ). Hierfür wurden 372.4 mg EDTA und 50 g TCA in jeweils einem Becherglas eingewogen. Nach Mischen der beiden Substanzen wurde das Becherglas mit destilliertem Wasser aufgefüllt (ca. 300 ml) und mittels Magnetrührer gelöst. 14.91 g Schwefelsäure und 100 ml Essigsäure wurden dieser Mischung zugegeben und in einen 1000 ml Messkolben übergeführt. Mit destilliertem Wasser wurde die Mischung im Messkolben bis zur Markierung aufgefüllt und für 15 Minuten im Ultraschallbad vollständig gelöst. Die Extraktionslösung wurde im Kühlschrank gelagert und während der Verwendung in ein Eisbad gestellt.

#### **Tris [2-Carboxyethyl] Phosphin-Hydrochlorid-Lösung (TCEP)**

7.22 mg TCEP wurden in einem 25 ml Messkolben in Acetatpuffer (2M) gelöst. Der Messkolben wurde bis zur 25 ml-Markierung mit Acetatpuffer aufgefüllt, um eine 1 mmolare TCEP-Lösung ( $\text{pH} = 7.6$ ) zu erhalten. Diese wurde anschließend zur vollständigen Lösung ins Ultraschallbad gestellt. Die TCEP-Lösung wurde bei  $4^{\circ}\text{C}$  im Kühlschrank aufbewahrt und während der Verwendung auf Eis gelegt.

#### **Essigsäurelösung**

Für die Herstellung von einem Liter 2 molarer Essigsäurelösung wurden in einen mit ca. 600 ml destilliertem Wasser gefüllten 1 Liter Messkolben 22 ml konzentrierte Essigsäure (Reinheit 99,8%) hinzugefügt und danach mit destilliertem Wasser auf einen Liter aufgefüllt und sorgfältig gemischt. Die Essigsäurelösung wurde in einer dunklen Flasche aufbewahrt.

#### **Laufmittel, mobile Phase**

Als Laufmittel wurde ein Gemisch aus Acetonitril und 2% Essigsäurelösung im Verhältnis 20 zu 80 mit einem pH-Wert von 2.8 verwendet. Für einen Liter mobile Phase wurden 200 ml Acetonitril mit 800 ml 2% Essigsäurelösung gemischt. Die mobile Phase wurde in einer verdunkelte Flasche aufbewahrt und vor jeder Verwendung zur Entfernung von Luftblasen für 15 Minuten ins Ultraschallbad gestellt.

### **3.2.2 Probenaufbereitung**

Die Aufbereitung der Erbsenproben wurde von Franke et al. [2004] übernommen. Es wurden folgende Stabilisierungsmaßnahmen während der Probenaufarbeitung beachtet:

- Ausschluss von Metallspuren
- Vermeidung von Licht
- Arbeiten bei möglichst niedrigen Temperaturen, sowie
- niedrigen pH-Werten

In ein 50 ml Zentrifugenröhrchen wurden ca. 2.5 g Homogenisat (siehe Kapitel 3.1.4) eingewogen und mit 10 ml kalter Extraktionslösung versetzt. Nach gründlichem Mischen und nach der Einwirkzeit von einer Minute wurde ein weiteres Mal gemischt. Anschließend wurden die Proberöhrchen in der Kühl-Zentrifuge bei  $4-6^{\circ}\text{C}$  und 20000 RPM 5 Minuten lang zentrifugiert. Die überstehende Lösung wurde mittels Pipette in einen dunklen 100 ml Messkolben überführt. Der Rückstand wurde mit 8 ml kalter Extraktionslösung versetzt, gemischt (mit Einwirkzeit und erneutem Mischen) und wie zuvor weiter behandelt. Der Extraktionsvorgang erfolgte insgesamt 4 mal, wobei 34 ml Extraktionsmittel verbraucht wurden und der Überstand im Messkolben gesammelt wurde. Durch Zugabe von 6 ml Acetatpuffer in den Messkolben wurde der pH-Wert der Lösung auf  $\text{pH} = 2$  eingestellt und anschließend mit destilliertem Wasser auf 100 ml aufgefüllt und gründlich gemischt. Vor dem Einspritzen in die HPLC-Anlage wurde nicht mehr



gemischt, um eventuellen Verunreinigungen das Absetzen zu ermöglichen. Die Extrakte wurden bis zur Bestimmung mittels HPLC unter Lichtausschluss im Eisbad gelagert.

#### **Bestimmung der L-Ascorbinsäurekonzentration (L-AA)**

Die in den dunklen Messkolben hergestellten Extrakte konnten direkt in die HPLC-Anlage gespritzt und zur Bestimmung der L-AA verwendet werden.

#### **Bestimmung der Gesamascorbinsäurekonzentration (T-AA)**

Um T-AA zu bestimmen, musste die im Extrakt enthaltene DHAA zu L-AA reduziert werden. Dazu wurden 200  $\mu$ l der Probe in einen dunklen Cup pipettiert, mit 200  $\mu$ l TCEP-Lösung (pH  $\approx$  5) versetzt und eine Stunde im Dunkeln bei Raumtemperatur inkubiert. Anschließend konnte die Gesamascorbinsäure der Probe mittels HPLC bestimmt werden. Bei der Auswertung wurde ein Verdünnungsfaktor (VF) von zwei berücksichtigt.

#### **Bestimmung der Dehydroascorbinsäurekonzentration (DHAA)**

Die Konzentration der Dehydroascorbinsäure wurde mit der Differenzmethode, durch Subtrahieren der L-AA von der T-AA Konzentration ermittelt.

### **3.2.3 RP (Reversed Phase)–HPLC**

Für die Bestimmung von Vitamin C wurde eine Reversed-Phase-HPLC (C 18-Alkyl-Ketten) zur Trennung eingesetzt. Reversed-Phase bedeutet, dass das stationäre Trennmateriale weniger polar ist, als die mobile Phase.

Im Anschluss an das Trennsystem befindet sich ein UV-Detektor, welcher die elektrischen oder chemischen Eigenschaften der eluierten Substanzen in elektrische Signale umwandelt und diese an die Auswertungseinheit weitergibt. Bei der Auswertungseinheit handelt es sich um einen Integrator der die entsprechenden Signale graphisch als Peak in einem Chromatogramm darstellt. Diese Visualisierung des Peaks gibt die Konzentration der Substanz in Abhängigkeit von der Zeit an.

Tabelle 3.2 gibt einen Überblick über das angewandte HPLC-System.

Die Laufzeit der Proben betrug 10 Minuten. Die Retentionszeit für L-Ascorbinsäure betrug ca. 3 Minuten. Jedoch kann die Retentionszeit je nach Testbedingung (Druck, Verunreinigungen, Regeneration, usw.) leicht abweichen.

Am Ende jedes Analysentages wurde die Trennsäule für 15 Minuten mit destilliertem Wasser und anschließend für 20 Minuten mit Methanol/destilliertem Wasser 50:50 gespült, um die Säule zu regenerieren.

Der Variationskoeffizient (VK) der Methode betrug für T-AA = 2.43% und für L-AA = 1.12%. Abbildungen 3.1 und 3.2 zeigen typische Chromatogramme eines Standards und einer Dosenerbsen-Probe.

### **3.2.4 Auswertung**

Um die Chromatogramme auswerten zu können, wurde mittels linearer Regression eine Ascorbinsäure-Eichgerade erstellt. Die Konzentrationen wurden über die Peakflächen

### 3. MATERIAL UND METHODEN

Tabelle 3.2: *HPLC-System für die Vitamin C-Bestimmung*

Komponenten	Beschreibung
Probenaufgabe	20 $\mu$ l Probenschleife
Pumpe	Merck Hitachi LaChrom, Pump L-7100 Flow: 0.8ml/min
Mobile Phase	Acetonitril: Essigsäurelösung (2%) = 20 : 80 v/v pH = 2.8
Vorsäule	YMC Europe GmbH, YMC-Pack J'sphere® H80 10 x 4.0 mm <sup>2</sup> i.d.
Analytische Säule	YMC HPLC column, J'sphere® ODS-H80 250 x 4.6 mm <sup>2</sup> i.d., Particle: S-4 $\mu$ m, 8nm
Thermostatisierung der Säule	COSYSOFT 3(Labortechnik Barkey, Bielefeld) und Wasserbad (T Lauda), Säulentemperatur: 25°C
Detektor	Merck Hitachi LaChrom, UV Detektor L-7400 Detektionswellenlänge: 243nm
Integrator	Merck Hitachi Integrator D-7500, Peakflächenmethode



Abbildung 3.1: *L-Ascorbinsäure (L-AA) Standard*

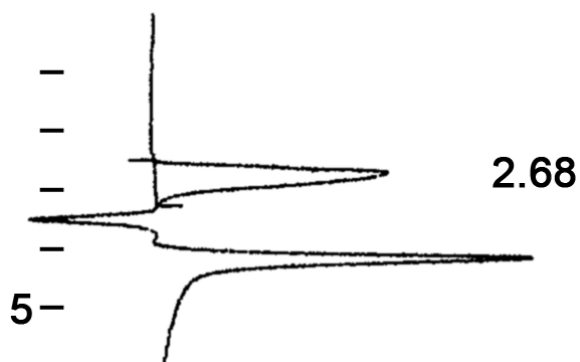


Abbildung 3.2: *Gesamt-Ascorbinsäure (T-AA) einer Dosenerbsen-Probe*

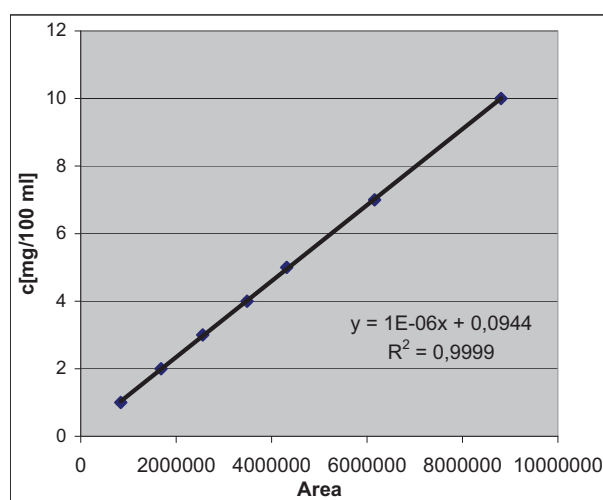
und anhand der Steigung der Geraden berechnet. Alle Analysen wurden in Doppelbestimmung durchgeführt und der jeweilige Mittelwert zur Berechnung der Konzentrationen verwendet.

### Herstellung der Stocklösung

50 mg kristalline L-Ascorbinsäure wurden eingewogen, mit Hilfe des Magnetrührers in mobiler Phase gelöst und anschließend in einem 100 ml Messkolben bis zur Markierung mit mobiler Phase aufgefüllt und gut gemischt.

### Herstellung der Eichgerade

Aus der Stocklösung wurde eine L-AA-Verdünnungsreihe mit verschiedenen Konzentrationen hergestellt. Zur Verdünnung diente mobile Phase. Der Konzentrationsbereich reichte von 1 bis 10 mg/100 ml. Die 7 Standard-Lösungen hatten folgende Konzentrationen: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10 mg/100 ml). Die Retentionszeit der L-AA-Standards lag bei ca. 2.9 min. Die Auswertung der Peakflächen erfolgte durch Microsoft Office Excel 2003. Die erhaltene Regressionsgerade (Abb. 3.3) diente der Konzentrationsbestimmung der Proben.



Y-Werte Konzentration	X-Werte, Area Mittelwert
1 mg/100ml	839129
2 mg/100ml	1684590
3 mg/100ml	2555515
4 mg/100ml	3485786,5
5 mg/100ml	4316407
7 mg/100ml	6157815
10 mg/100ml	8806803,5
Achsenabschnitt	0.0944
Steigung	1E-06
Korrelation	0.9999
Gerade	$y=1E-06x + 0.0944$

Abbildung 3.3: L-Ascorbinsäure Eichgerade

Der Korrelationskoeffizient der Regressionsgeraden betrug  $r=0.9999$ . Somit war eine signifikante lineare Abhängigkeit zwischen den Peakflächen und der L-AA Konzentration gegeben.

### Berechnung der Ascorbinsäure- und Gesamtascorbinsäure-Konzentration

Um die Vitamin C-Konzentrationen ( $L-AA_{Konz.}$  bzw.  $T-AA_{Konz.}$ ) anhand der Eichgerade zu berechnen, wurde die Peakfläche (Area) in die Regressionsgerade eingesetzt. Um

die Vitamin C Konzentration pro 100 g Lebensmittel zu ermitteln, musste der Verdünnungsfaktor ( $L-AA_{Konz.}$ : VF = 1;  $T-AA_{Konz.}$ : VF = 2) und die Einwaage der Proben berücksichtigt werden.

$$(AREA + Achsenabschnitt/Steigung) = L-AA_{Konz.} \text{ laut Eichgerade } [mg \text{ L-AA}/100g]$$

$$(L-AA_{Konz.}/Einwaage) \cdot 100 \cdot 1 = L-AA_{Konz.} [mg \text{ L-AA}/100g]$$

$$(L-AA_{Konz.}/Einwaage) \cdot 100 \cdot 2 = T-AA_{Konz.} [mg \text{ L-AA}/100g]$$

#### **Berechnung der Dehydroascorbinsäurekonzentration**

Die Berechnung der Dehydroascorbinsäure erfolgte mittels der Differenzmethode. Hierfür wurde zuerst der Ascorbinsäuregehalt ( $L-AA_{Konz.}$ ) mittels HPLC gemessen. Anschließend wurde mit der TCEP-Lösung die DHAA zu L-AA reduziert und die Gesamtascorbinsäure Konzentration als L-AA bestimmt. Durch Subtraktion der L-AA von der T-AA erhält man den Gehalt an DHAA ( $DHAA_{Konz.}$ ). Die Berechnung des prozentualen Anteiles an DHAA erfolgte durch Division der T-AA durch DHAA und der Multiplikation mit 100.

$$T-AA_{Konz.} - L-AA_{Konz.} = DHAA_{Konz.} [mg \text{ DHAA}/100g]$$

$$(DHAA_{Konz.}/T-AA_{Konz.}) \cdot 100 = DHAA\text{-Anteil}[\%]$$

### **3.3 Carotinoide**

Die Bestimmung der Carotinoid Konzentrationen (Lutein, Zeaxanthin, Cryptoxanthin,  $\alpha$ -Carotin,  $\beta$ -Carotin) erfolgte in modifizierter Form nach Konings und Roomans [1997].

#### **Reagenzien für die Probenaufbereitung**

- Methanol, MERCK
- Chloroform, Merck
- Calciumchlorid, Sigma
- Natriumsulfat (wasserfrei), Fluka

## Reagenzien für die HPLC–Analyse

- Methanol, Merck
- Acetonitril, Merck
- Dichlormethan, Merck
- Stickstoff plus, Air Liquid (Nr. UN 1066)

### 3.3.1 Herstellung der verwendeten Lösungen und Laufmittel

#### Extraktionslösung

Die Extraktionslösung bestand aus Methanol : Chloroform im Verhältnis 1 : 2. Zur Herstellung wurden 300 ml Methanol und 600 ml Chloroform in einem 1 Liter Messzylinder gemischt. Die Lösung wurde zur Aufbewahrung in eine dunkle Flasche abgefüllt.

#### Calciumchloridlösung

Um eine 0.05 M (= 5.5 g/l) Calciumchloridlösung zu erhalten, wurden 2.775 g Calciumchlorid in einen 500 ml Messkolben eingewogen und mit destilliertem Wasser aufgefüllt. Um eine vollständige Lösung zu erreichen, wurde der Messkolben für 15 Minuten ins Ultraschallbad gestellt.

#### Laufmittel, mobile Phase

Als mobile Phase diente eine Mischung aus 3 Komponenten. Hierfür wurden 850 ml Methanol, 100 ml Acetonitril und 50 ml Dichlormethan in einem 1 Liter Messzylinder gemischt und anschließend in eine dunkle Flasche überführt und an die HPLC angeschlossen.

### 3.3.2 Probenaufbereitung

Die Aufbereitung der Proben erfolgte nach Folch et al. [1957]. Von dem in Kapitel 3.1.4 beschriebenen Homogenisat wurden ca. 1 g in ein Pyrexglas eingewogen und mit 30 ml Extraktionslösung (Methanol/Chloroform 1:2 v/v) versetzt. Anschließend wurden die verschlossenen Gläser für 30 Minuten in einem dunklen, gekühlten Raum geschüttelt und über Nacht im Kühlschrank aufbewahrt.

Am nächsten Tag wurden die Proben ohne Lichteinfluss auf Zimmertemperatur gebracht. Die Extrakte wurden über einen Faltenfilter in einen 100 ml Scheidetrichter filtriert, mit 6 ml Calciumchloridlösung versetzt und 1 Minute lang geschüttelt, um eine Phasentrennung zu erreichen. Nach Ende der Phasentrennung wurde die lipidlösliche Phase (Chloroformphase) über einen Faltenfilter mit wasserfreiem Natriumsulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) in einen 100 ml Messzylinder filtriert. Das Extraktionsvolumen wurde abgelesen und notiert, um anschließend das Extrakt in ein dunkles Fläschchen zu überführen. Die Fläschchen wurden mit Stickstoff begast, verschlossen und der Verschluss mit Parafilm umwickelt, um diesen abzudichten. Zur Aufbewahrung wurden die Extrakte bei  $-20^\circ\text{C}$  eingefroren.

### 3.3.3 RP-HPLC

Die Analyse der Carotinoide erfolgte mittels RP-HPLC. Bevor die Extrakte in das HPLC-System eingespritzt werden konnten, mussten sie weiter bearbeitet werden.

Zunächst wurden die Proben im Ultraschallbad (15 Minuten) auf Raumtemperatur gebracht. Anschließend wurde 1 ml in eine Eprovette pipettiert und mit Hilfe von Stickstoff (bei 40°C im Wasserbad) eingengt, bis nur noch ein Rückstand zu erkennen war. Der Rückstand wurde in 20 µl Dichlormethan angelöst, in 200 µl Methanol gelöst und gründlich gemischt. Von dieser Lösung wurden 180 µl in Vials pipettiert und in den Autosampler gestellt. Die Einspritzmethode erfolgte computergesteuert. Es wurden 150 µl aus dem Vial entnommen, wobei 100 µl auf die Trennsäule aufgebracht und 50 µl verworfen wurden.

Die aufgetrennten Carotinoidsubstanzen wurden mittels UV-VIS Detektor ermittelt und mit Hilfe der Auswertungssoftware EZChrom Elite 3.1 graphisch in Chromatogrammen dargestellt und ausgewertet.

Die Laufzeit der Proben betrug 20 Minuten. Jede Carotinoidanalyse wurde in Doppelbestimmung durchgeführt. Zur Überprüfung der Methode wurde alle 10 Proben ein Standard eingespritzt.

Die Retentionszeiten betrugen für Lutein ca. 3.5 Minuten, für Zeaxanthin ca. 4.2 Minuten, für Cryptoxanthin ca. 5.7 Minuten, für  $\alpha$ -Carotin ca. 8 Minuten und für  $\beta$ -Carotin ca. 9 Minuten. Die Retentionszeiten können je nach Testbedingungen (Verunreinigungen, Regeneration, Druck, Temperatur) variieren. Abbildung 3.4 zeigt ein typisches Chromatogramm.

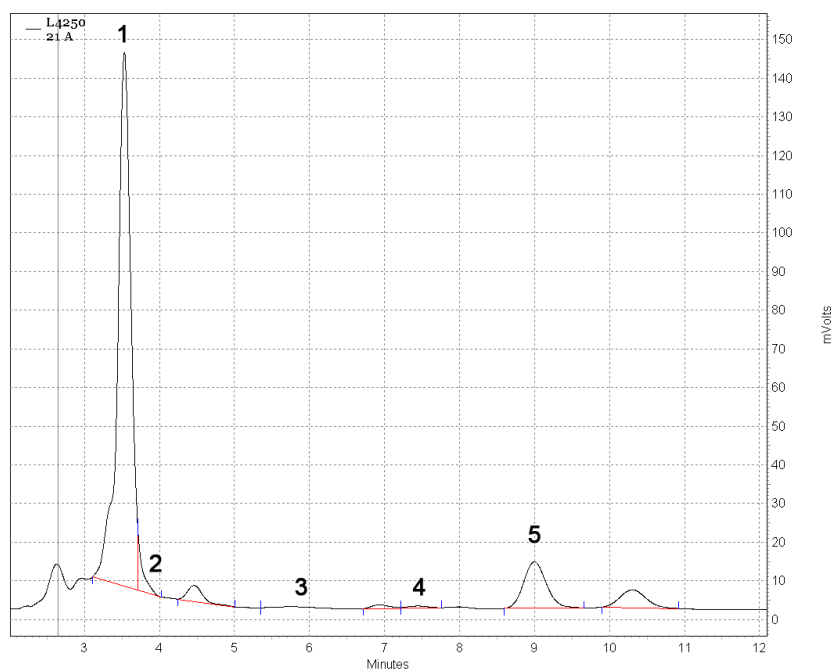


Abbildung 3.4: Beispielchromatogramm der untersuchten Carotinoide in Glaserbsen. (1) Lutein, (2) Zeaxanthin, (3) Cryptoxanthin, (4)  $\alpha$ -Carotin und (5)  $\beta$ -Carotin

Tabelle 3.3 gibt einen Überblick über das verwendete HPLC-System.

Tabelle 3.3: *HPLC-System für die Carotinoidbestimmung*

Komponenten	Beschreibung
Probenaufgabe	100 $\mu$ l Probenschleife
Probeneinbringung	Merck Hitachi LaChrom Autosampler L-7200
Pumpe	Merck Hitachi LaChrom Pump L-7110 Flow: 0.8ml/min
Interface	Merck Hitachi LaChrom Interface D-7000
Mobile Phase	850ml Methanol 100ml Acetonitril 50ml Dichlormethan
Vorsäule	Externe RP18 Vorsäule
Analytische Säule	Vydac Säule kurz RP-C18, 150 x 4,6 mm, 5 $\mu$ m Cat. # 201TP5415 S/N E961008-4-7 # 070
Thermostatisierung der Säule	Merck Hitachi LaChrom Column Oven L-7455 Säulentemperatur: 20°C
Detektor	Merck Hitachi LaChrom, UV-VIS Detector L-4250 Detektionswellenlänge: 450nm
Software	EZ Chrom Elite 3.1

### 3.3.4 Auswertung

Die Auswertung der Chromatogramme erfolgte für die einzelnen Carotinoide über die Erstellung von Eichgeraden mittels linearer Regression. Anhand der erhaltenen Peakflächen und der Steigung der Eichgerade wurden die Konzentrationen berechnet.

#### Herstellung der Eichgeraden

Es wurden für Lutein, Zeaxanthin, Cryptoxanthin,  $\alpha$ -Carotin und  $\beta$ -Carotin fünf verschiedene Kalibrationsgeraden hergestellt. Die Konzentrationen der Eichgeraden wurden

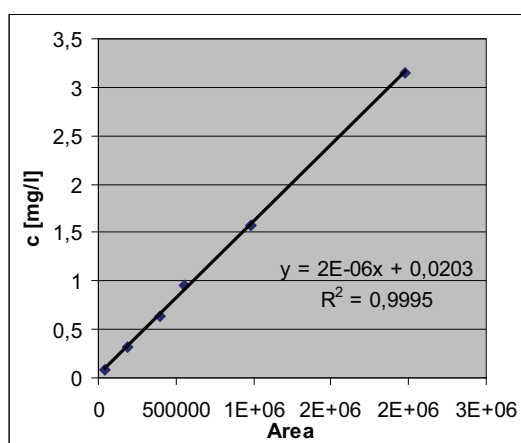
an die niedrigsten und höchsten ermittelten Gehalte angepasst und reichten von 0.002 bis 3.15 mg/l.

Die bereits im Labor vorhandenen Stocklösungen wurden photometrisch rückvermessen und die gewünschten Konzentrationen in Eprovetten pipettiert. Danach wurde das Lösungsmittel mit Stickstoff abgedampft, der Rückstand in 1 ml Dichlormethan angelöst und in einem 20 ml Messkolben bis zur Markierung mit Methanol aufgefüllt und gelöst.

Von dieser Lösung ausgehend wurde eine Verdünnungsreihe mit den jeweils berechneten Konzentrationen erstellt. Als Verdünnungsmittel diente die mobile Phase. Die Auswertung wurde mittels EZChrom Elite 3.1 durchgeführt.

Die Korrelationskoeffizienten für die Eichgeraden betrugen: Für Lutein = 0.9995, für Zeaxanthin = 0.999, für Cryptoxanthin = 0.9998, für  $\alpha$ -Carotin = 0.9994 und für  $\beta$ -Carotin = 0.9937.

Die Abbildungen 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 und 3.9 zeigen die Eichgeraden wie sie auch vom Programm EZChrom Elite 3.1. dargestellt wurden.



Y-Werte Konzentration	X-Werte, Area Mittelwert
0.08 mg/l	46889
0.32 mg/l	192197
0.63 mg/l	397164
0.95 mg/l	555123
1.58 mg/l	978807
3.15 mg/l	1976396
Achsenabschnitt	0.0203
Steigung	2E-06
Korrelation	0.9995
Gerade	$y=2E-06x + 0.0203$

Abbildung 3.5: *Lutein Eichgerade*

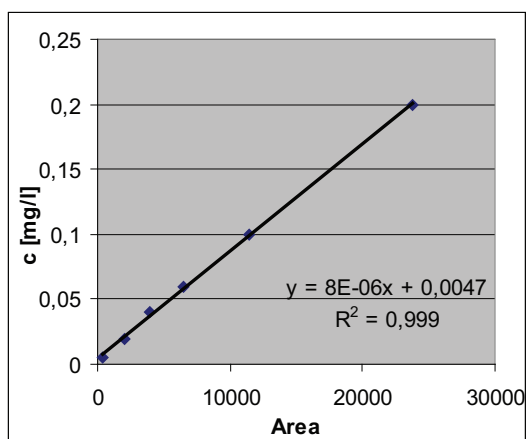
#### Berechnung der Carotinoid-Konzentrationen

Bei der Berechnung der Carotinoid-Konzentrationen wurden die Einwaagen der Proben sowie alle Verdünnungs- und Konzentrationsfaktoren berücksichtigt. Durchgeführt wurden die Berechnungen mit Hilfe der Software EZ Chrom Elite 3.1 und Microsoft Excel.

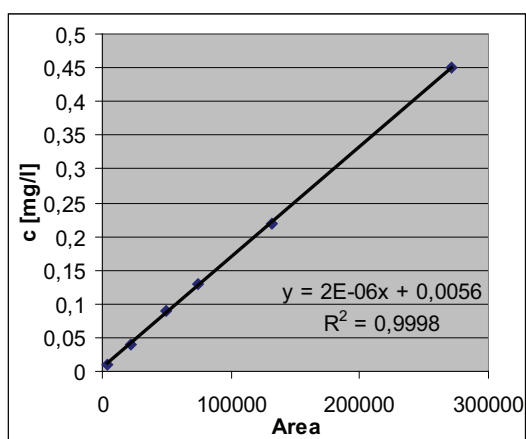
#### Reproduzierbarkeit

Die Variationskoeffizienten für die verschiedenen Carotinoide wurden anhand von Dosenerbsen bestimmt. Hierfür wurden 10 Proben analysiert, wobei jede Analyse in Doppelbestimmung durchgeführt wurde. Der ermittelte Variationskoeffizient (VK) betrug bei Lutein = 5.57, bei Zeaxanthin = 4.45, bei Cryptoxanthin = 13.33, bei  $\alpha$ -Carotin = 9.79 und bei  $\beta$ -Carotin = 5.25.



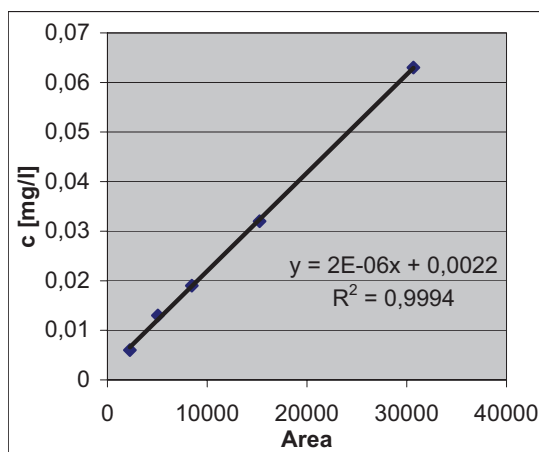


Y-Werte Konzentration	X-Werte, Area Mittelwert
0.005 mg/l	411
0.020 mg/l	2001
0.040 mg/l	3959
0.060 mg/l	6469
0.100 mg/l	11379
0.200 mg/l	23819
Achsenabschnitt	0.0047
Steigung	8E-06
Korrelation	0.999
Gerade	$y = 8E-06x + 0.0047$

Abbildung 3.6: *Zeaxanthin Eichgerade*

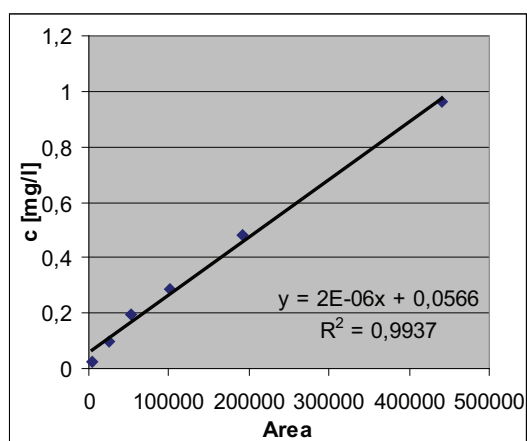
Y-Werte Konzentration	X-Werte, Area Mittelwert
0.01 mg/l	3434
0.04 mg/l	22514.5
0.09 mg/l	49221.5
0.13 mg/l	74857
0.22 mg/l	131327
0.45 mg/l	270909
Achsenabschnitt	0.0056
Steigung	2E-06
Korrelation	0.9998
Gerade	$y = 2E-06x + 0.0056$

Abbildung 3.7: *Cryptoxanthin Eichgerade*



Y-Werte Konzentration	X-Werte, Area Mittelwert
0.006 mg/l	2245.5
0.013 mg/l	5060.5
0.019 mg/l	8459
0.032 mg/l	15248
0.063 mg/l	30665
Achsenabschnitt	0.0022
Steigung	2E-06
Korrelation	0.9994
Gerade	$y = 2E-06x + 0.0022$

Abbildung 3.8:  $\alpha$ -Carotin Eichgerade



Y-Werte Konzentration	X-Werte, Area Mittelwert
0.024 mg/l	3889
0.096 mg/l	24775.5
0.192 mg/l	52398
0.288 mg/l	100626
0.480 mg/l	192395
0.960 mg/l	440924
Achsenabschnitt	0.0566
Steigung	2E-06
Korrelation	0.9937
Gerade	$y = 2E-06x + 0.0566$

Abbildung 3.9:  $\beta$ -Carotin Eichgerade

## 3.4 Totale Antioxidative Kapazität (TAC)

Die Bestimmung der totalen antioxidativen Kapazität (TAC) erfolgte mittels der TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) Analyse, nach der Methode von Miller et al. [1993], Rice-Evans und Miller [1994].

### Reagenzien für die Probenaufbereitung

- Na-Acetat
- Essigsäure, Fluka
- Destilliertes Wasser, Eigene Herstellung
- Aceton

### Reagenzien für die Analyse

- Trolox (6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxysäure), Fluka
- ABTS (2,2'-Azinobis-[3-ethylbenzthiazolizolin-6-sulfonsäure]), Sigma
- Myoglobin, Sigma
- 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Donauchem

### 3.4.1 Herstellung der verwendeten Lösungen und Laufmittel

#### Acetat-Puffer

Für die Herstellung des 0.1 mol/l Acetatpuffers wurden 5.25 g wasserfreies Natriumacetat und 2.16 g Essigsäure in einem 1L Messkolben eingewogen und mit destilliertem Wasser aufgefüllt. Um eine vollständige Lösung zu erreichen, wurde der Messkolben für 15 Minuten ins Ultraschallbad gestellt. Anschließend wurde der pH-Wert der Lösung entweder mit NaOH oder Salzsäure auf pH = 5 eingestellt.

#### PBS-Puffer

Zur Herstellung des PBS-Puffers wurden 8.2 g NaCl, 0.2 g KCl, 1.2 g Dinatriumhydrogenphosphat und 0.2 g Kaliumdihydrogenphosphat eingewogen, in 800 ml destilliertem Wasser gelöst und unter Rühren der pH-Wert auf pH = 7.4 eingestellt. Anschließend wurde die Lösung in einen 1L-Messkolben überführt und mit destilliertem Wasser bis zur Markierung aufgefüllt. Der PBS-Puffer wurde jeden Tag erneut hergestellt.

#### H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Lösung

Lösung A: 515  $\mu$ l 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in 10 ml PBS-Puffer.

Lösung B: 45  $\mu$ l von Lösung A in 50 ml PBS-Puffer.

#### ABTS-Lösung

54.8 mg ABTS wurden in einem 20 ml Messkolben mit PBS-Puffer aufgefüllt.

#### **Trolox**

154 mg Trolox wurden in 250 ml PBS-Puffer aufgelöst, in Cups pipettiert und bei  $-20^{\circ}\text{C}$  aufbewahrt.

#### **Metmyoglobin**

Das in PBS-Puffer gelöste Myoglobin (150.4 mg Myoglobin in 20 ml PBS = Lösung 1) wird mit 10 ml einer Ferricyanidlösung (24.4 g Ferricyanid in 100 ml PBS = Lösung 2) zu Metmyoglobin oxidiert. Diese Mischung wird danach auf eine vorbereitete Chromatographiesäule (Sephadex G-15-120, 35 cm x 2.5 cm) aufgetragen, die vorher mit zweifachem Säulenvolumen mit PBS-Puffer bei 2 ml/min gespült wurde. PBS diente als Laufmittel. Wenn die Myoglobinlösung die Säule vollständig durchlaufen hat, werden ca. alle 5 Minuten die braunen Fraktionen gesammelt und anschließend bei den Wellenlängen  $\lambda = 490, 560, 580$  und  $700\text{ nm}$  gegen PBS-Puffer gemessen. Die mittlere Fraktion wird in 400 ml Einheiten in Cups eingefroren. Mit der Formel  $c[\mu\text{M}/\text{L}] = 146 \cdot E_{490} - 108 \cdot E_{560} + 2.1 \cdot E_{580} - E_{700}$  wurde die Konzentration von  $180.63\mu\text{M}/\text{L}$  der Myoglobinlösung berechnet.

#### **3.4.2 Probenaufbereitung**

Die Aufbereitung der Proben erfolgte nach Akesson et al. [2004]. Um die totale antioxidative Kapazität sowohl in der wasserlöslichen als auch in der wasserunlöslichen Phase untersuchen zu können, war eine unterschiedliche Aufbereitung der Produkte notwendig.

- Frische Erbsen und ZS-Erbsen. Einwaage: 20 g + 20 ml Acetatpuffer
- Tiefkühlerbsen wurden in ein Becherglas eingewogen, mit derselben Menge an Acetatpuffer im Dunkeln aufgetaut und anschließend homogenisiert. Einwaage: 40 g
- Dosen- und Glaserbsen:
  - Erbsen ohne Saft homogenisiert. Einwaage: 20 g + 20 ml Acetatpuffer
  - Erbsen mit Saft homogenisiert. Einwaage: 40 g (ohne Acetatpuffer)

Die Analyse der Proben erfolgte in 4-facher Bestimmung.

#### **Probenaufbereitung für die wasserlösliche Phase**

Die Einwaage der Homogenisate erfolgte in 50 ml Zentrifugen-Röhrchen, die gründlich gemischt wurden und anschließend in der Kühlzentrifuge bei  $4^{\circ}\text{C}$  und bei 14750 RPM (= 26000g) für 30 Minuten zentrifugiert wurden. Der Überstand wurde in Cups pipettiert, mit Stickstoff begast und bei  $-80^{\circ}\text{C}$  gelagert.

#### **Probenaufbereitung für die wasserunlösliche Phase**

Nach abpipettieren des Überstands wurde der restliche flüssige Überstand verworfen, das zurückgebliebene Homogenisat gründlich gemischt und anschließend ca. 1 g in eine Glaseprouvette eingewogen. Nach Zugabe von 8 ml Aceton wurde wieder gemischt und

bei Raumtemperatur für 30 Minuten stehen gelassen, wobei ab und zu gemischt wurde. Danach wurden die Glaseprouvetten bei Zimmertemperatur 10 Minuten bei 3120 RPM (= 1200g) zentrifugiert. Der Überstand wurde in dunkle Cups pipettiert, mit Stickstoff begast und ebenfalls bei  $-80^{\circ}\text{C}$  gelagert.

### 3.4.3 Prinzip der Methode

Antioxidantien besitzen die Fähigkeit das Radikalkation von 2,2'-Azinobis-(3-ethylbenzothiazolin-6-sulphonsäure) (ABTS), welches ein charakteristisches Absorptionsmaximum besitzt, in wässriger Phase abzufangen.

Zunächst wird Met-Myoglobin [ $\text{Fe}^{3+}$ ] mittels 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$  zu Feryl-Myoglobin [ $\text{Fe}^{4+}$ ] oxidiert. Dieses wird mit ABTS versetzt und reagiert einerseits zu einem stabilen Myoglobinkomplex und andererseits zu einem grünlichen ABTS-Radikalkation, welches bei einer Wellenlänge von  $\lambda = 734\text{nm}$  photometrisch gemessen wird.

Je stärker die antioxidative Kapazität, desto stärker wird die Bildung des Radikalkations unterdrückt. Das Maß der Hemmung der Bildung des ABTS-Kations durch die in der Probe enthaltenen Antioxidantien wird mit der Hemmung durch eine Standardsubstanz verglichen. Als Standard wird 6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxysäure (Trolox) verwendet und das Ergebnis in [mmol Trolox Äquivalente/L] angegeben.

#### Testdurchführung

Vor jeder Testserie wurde eine Eichgerade mit fünf Messpunkten der Trolox-Standardlösungen mit Konzentrationen von 0.5–2.5 mmol/L aufgestellt (Tabelle 3.4), welche zur Berechnung der TAC-Werte diente. Ein Beispiel einer solchen Eichgerade wird in Abb. 3.10 gezeigt.

Tabelle 3.4: *Trolox-Standardlösungen*

Standard 1	100 $\mu\text{l}$ Trolox + 400 $\mu\text{l}$ PBS-Puffer
Standard 2	200 $\mu\text{l}$ Trolox + 300 $\mu\text{l}$ PBS-Puffer
Standard 3	300 $\mu\text{l}$ Trolox + 200 $\mu\text{l}$ PBS-Puffer
Standard 4	400 $\mu\text{l}$ Trolox + 100 $\mu\text{l}$ PBS-Puffer
Standard 5	500 $\mu\text{l}$ Trolox

#### Messung

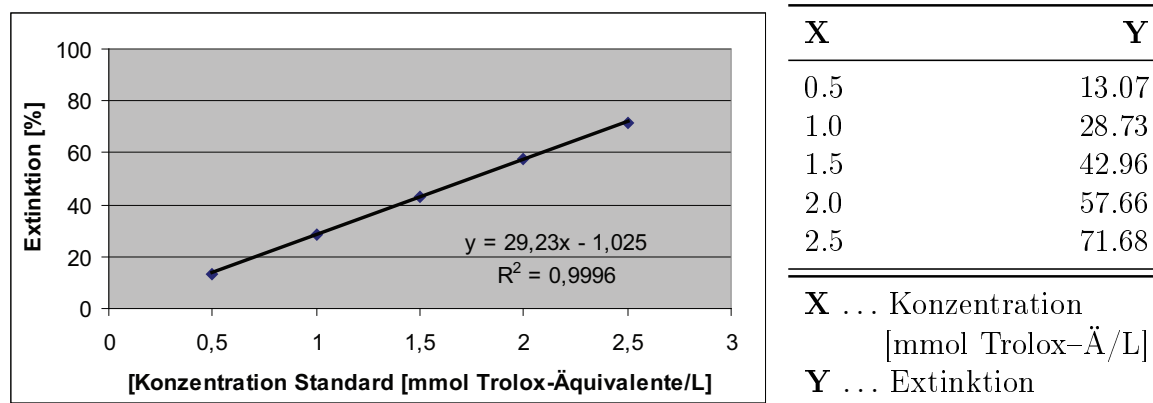
Vor Beginn der Messung wurden PBS-Puffer und ABTS (Lichtschutz!) im Wasserbad auf  $30^{\circ}\text{C}$  temperiert. Die Messung wurde bei einer Wellenlänge von  $\lambda = 734\text{nm}$  durchgeführt, die Extinktion nach jeweils 6 Minuten abgelesen (Tabelle 3.5).

Tabelle 3.5: *Ablauf der TAC-Messung*

Leerwert	410 $\mu$ l PBS-Puffer
	400 $\mu$ l ABTS
	20 $\mu$ l Metmyoglobin zufügen bei 7.10
	170 $\mu$ l H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> bei Min. 7.00 zufügen, ins Photometer
Standard	410 $\mu$ l PBS-Puffer
	400 $\mu$ l ABTS
	10 $\mu$ l Standard
	20 $\mu$ l Metmyoglobin zufügen bei 7.10
	170 $\mu$ l H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> bei Min. 7.00 zufügen, ins Photometer
Probe	400 $\mu$ l PBS-Puffer
	400 $\mu$ l ABTS
	20 $\mu$ l Probe
	20 $\mu$ l Metmyoglobin zufügen bei 7.10
	170 $\mu$ l H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> bei Min. 7.00 zufügen, ins Photometer

### 3.4.4 Auswertung

Die Berechnung der Konzentration erfolgte mittels Eichgerade (Abb. 3.10) der Bezugssubstanz Trolox (6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxysäure), welche zwischen 0.5 und 2.5 mmol Trolox-Ä/L linear ist, da der Korrelationskoeffizient bei 0.9996 lag. Die Ergebnisse wurden in mmol Trolox-Ä/L angegeben.


Abbildung 3.10: *TAC Standardgerade*

### Reproduzierbarkeit

Der Variationskoeffizient (VK) der Methode, der durch zehnmals Bestimmen einer Probe ermittelt wurde, betrug für die wasserlösliche Phase  $VK = 3.46\%$  und für die wasserunlösliche Phase  $VK = 10.10\%$ .

## 3.5 Trockensubstanz

Die Bestimmung der Trockensubstanz in den Erbsenproben erfolgte nach der Methode von Mattisek et al. [2006].

### 3.5.1 Durchführung

Die zur Bestimmung der Trockensubstanz gebrauchten Glasschalen wurden im Trockenschrank vorgetrocknet und anschließend in den Exikator überführt. Danach wurde das Leergewicht der Schälchen mittels Waage bestimmt und notiert.

Für jede Bestimmung wurden ca. 5 g der homogenisierten Proben in die vorgetrockneten Glasschalen eingewogen und das Gewicht notiert. Die Schalen wurden danach in den Trockenschrank gestellt und für 3 Stunden bei 103°C getrocknet.

Nach der Trocknung wurden die heißen Schälchen zur Abkühlung in den Exikator überführt und anschließend gewogen. Mit den erhaltenen Werten konnte der Gehalt an Trockensubstanz berechnet werden. Die Bestimmung der Trockensubstanz erfolgte für jede Probe in Doppelbestimmung, wobei daraus der Mittelwert berechnet wurde. Der Variationskoeffizient (VK) der Trockensubstanzbestimmung betrug 1.40%.

### 3.5.2 Berechnung der Trockensubstanz

Der prozentuale Trockensubstanzgehalt (T) errechnet sich nach folgender Formel (3.1):

$$T[\%] = [(M3 - M1)/(M2 - M1)] \cdot 100 \quad (3.1)$$

*M1... Leergewicht der Glasschalen in Gramm*

*M2... Gewicht von Einwaage und Schale vor der Trocknung in Gramm*

*M3... Gewicht von Einwaage und Schale nach der Trocknung in Gramm*

## 3.6 Sensorische Analyse

Nachdem die Bestimmungen der chemischen Parameter abgeschlossen waren, wurden die Produkte mit den durchschnittlich höchsten Gehalten an Vitamin C (TAA) und TAC-Werten für die sensorische Analyse ausgewählt. Die objektive Beurteilung der Erbsenproben erfolgte anhand der Quantitativen Deskriptiven Analyse (QDA) an zwei Tagen, um die jeweiligen Produktgruppen, aufgrund ihrer spezifischen Herstellung und auch Zubereitung, miteinander vergleichen zu können. Es wurden jeweils zwei Durchgänge an einem Tag durchgeführt.

### 3.6.1 Quantitative Deskriptive Analyse (QDA)

Die Durchführung der Quantitativen Deskriptiven Analyse erfolgte nach Stone et al. [1974]. Diese analytische Prüfung ist eine beschreibende, objektive Methode, bei der persönliche Einflüsse und Meinungen ausgeschlossen werden. In der ersten Phase der QDA (qualitative Beurteilung) werden Begriffe (Attribute) gesucht, welche die charakteristischen Merkmale des Produktes hinsichtlich Aussehen, Geruch, Geschmack und Textur genau und umfassend beschreiben (Tabelle 3.6).

Tabelle 3.6: *Attributenliste für grüne Erbsen [Berger et al., 2007; Wienberg und Martens, 2000; Bech et al., 1997; Periago et al., 1996b]*

<b>Optik/Aussehen</b>	
Grüne Farbe	Beurteilung der Intensität der grünen Farbe (von nicht wahrnehmbar bis sehr intensiv)
Gleichmäßigkeit der Farbe	Beurteilung der Gleichmäßigkeit der Farbe (von nicht gleichmäßig bis sehr gleichmäßig)
Größe	Beurteilung der Größe der Erbsen (von sehr klein bis sehr groß)
Gleichmäßige Größe	Beurteilung der Gleichmäßigkeit der Größe der Erbsen (von nicht gleichmäßig bis sehr gleichmäßig)
Rundheit	Beurteilung des rundlichen Aussehens (nicht rund bis sehr rund)
Glanz der Oberfläche	Beurteilung der Intensität einer glänzenden Oberfläche (von nicht glänzend bis sehr glänzend)
<b>Geruch</b>	
Intensität des Geruchs allgemein	Beurteilung der Intensität des allgemeinen Geruchs (von nicht wahrnehmbar bis sehr intensiv)
Geruch der frischen Erbse	Beurteilung der Intensität des Geruchs nach frischen Erbse (von nicht wahrnehmbar bis sehr intensiv)
süßlich	Beurteilung eines süßen Geruchs (von nicht wahrnehmbar bis sehr intensiv)
erdig/muffig	Beurteilung eines erdigen/muffigen Geruchs (erinnernd an Feuchte Erde) (von nicht wahrnehmbar bis sehr intensiv)
grasig	Beurteilung eines grasigen Geruchs (erinnernd an frisches Gras) (von nicht wahrnehmbar bis sehr intensiv)



<b>Flavour/Geschmack</b>	
Intensität des Flavours allgemein	Beurteilung der Intensität des allgemeinen Flavours (von nicht wahrnehmbar bis sehr intensiv)
Erbsenflavour	Beurteilung der Intensität des Flavours nach Erbse (von nicht wahrnehmbar bis sehr intensiv)
erdig/muffiger Flavour	Beurteilung eines erdigen/muffigen Flavours (erinnernd an feuchte Erde) (von nicht wahrnehmbar bis sehr intensiv)
grasiger Flavour	Beurteilung eines grasigen Flavours (erinnernd an frisches Gras) (von nicht wahrnehmbar bis sehr intensiv)
Stärke-Flavour	Beurteilung der Intensität eines Stärke-Flavours, erinnernd an Kartoffeln (von nicht wahrnehmbar bis sehr intensiv)
süß	Beurteilung eines süßen Geschmacks, Basalqualität (Geschmack nach Saccharoselösung) (von nicht wahrnehmbar bis sehr intensiv)
bitter	Beurteilung eines bitteren Geschmacks, Basalqualität (Geschmack nach Koffeinlösung) (von nicht wahrnehmbar bis sehr intensiv)
<b>Textur/Mundgefühl</b>	
Glätte der Oberfläche	Beurteilung der Glätte der Oberfläche. Beschreibt die Oberflächenglätte der Erbsen, die mit der Zunge fühlbar ist, ohne die zugeführten Erbsen zu zerbeißen. (von nicht glatt bis sehr glatt)
knackig/knusprig	Beurteilung der Knusprigkeit von Erbsen. Beschreibt das Geräusch/das Knacken, das während dem ersten Bissen zu hören ist. (von nicht knackig bis sehr knackig)
Saftigkeit	Beurteilung der Menge des Saftes der beim Kauen freigesetzt wird, erinnernd an das Hineinbeißen in eine saftige Birne. (von nicht saftig bis sehr saftig)
Festigkeit/Härte	Beurteilung der Festigkeit von Erbsen. Beschreibt die Kraft die mit den Zähnen aufgebracht werden muss um Erbsen mit dem ersten Bissen zu durchbeißen. (von sehr weich bis sehr hart)

mehlig	Beurteilung eines mehligten Mundgefühls, erinnernd an mehliges Äpfel. Beschreibt das stärke-ähnliche Mundgefühl, wenn 3 Erbsen 2–3 mal gekaut werden und dieser Rest gegen den Gaumen gedrückt wird. (von nicht mehlig bis sehr mehlig)
Zähigkeit	Beurteilung der Intensität der Kaubewegungen. Beschreibt die notwendigen Kaubewegungen um 3 Erbsen in einen schluckfertigen Zustand zu bringen. (von nicht zäh [ $< 10$ Kaubewegungen] bis sehr zäh [ $> 35$ Kaubewegungen])
Dicke der Haut	Beurteilung der Dicke der Haut (von nicht dick bis sehr dick)

Die zweite Phase der QDA (quantitative Beurteilung) diente der Bewertung der Intensität der einzelnen Attribute durch 10 geschulte PrüferInnen (Panellisten) auf einer Skala von 0–10, wobei die Intensität von links nach rechts zunahm. Beispiele für verwendete Skalen sind in Abb. 3.11 zu sehen.

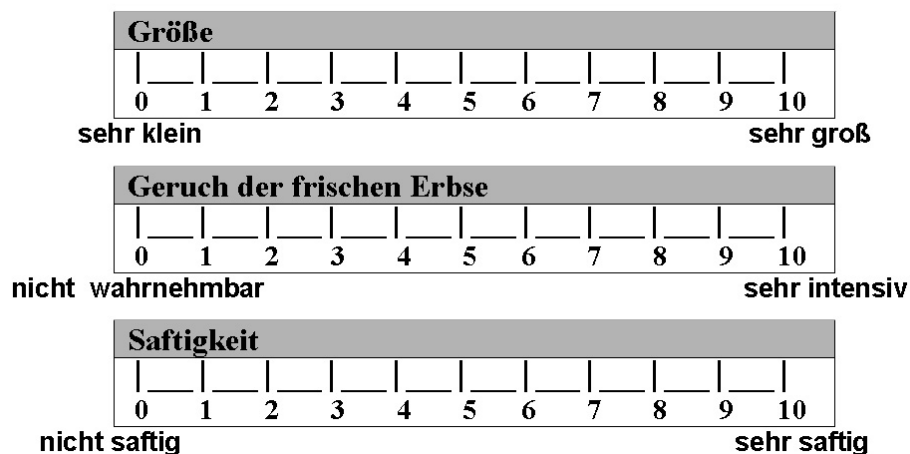


Abbildung 3.11: *Beispiele für verwendete Skalen*

#### 3.6.2 Probenvorbereitung

Die QDA wurde aufgrund der produktspezifischen Zubereitung in zwei Teile aufgeteilt: An einem Tag fand die Beurteilung der Frischen Erbsen, Frischen Zuckerschoten-Erbsen und Tiefkühlerbsen, die jeweils gekocht wurden, statt. An einem anderen Tag wurden die Dosenerbsen und Glaserbsen, die lediglich erwärmt wurden, beurteilt.

Für den ersten Tag wurden folgende Erbsen ausgewählt:

<b>Produkt</b>	<b>Marke</b>	<b>Herkunft</b>
FrISChe Erbsen	Naschmarkt	Österreich
FrISChe Zuckerschoten– Erbsen (ohne Schoten)	Siam Fresh	Thailand
Tiefkühlerbsen	Green Gold	

Die Frischen Erbsen wurden aus den Schoten gelöst (gepalt) und bis zur Zubereitung im Kühlschrank aufbewahrt. Die Aufbereitung der TK-Erbsen erfolgte nach Berger et al. [2007], jedoch in modifizierter Form, da die Erbsen in einer größeren Wassermenge und ohne Salz gekocht wurden. Um die Proben für die QDA zuzubereiten wurden die Erbsen in jeweils der doppelten Menge an Wasser gekocht. Die Kochzeit für die Frischen Erbsen lag bei ca. 10 Minuten, die Kochzeit der Tiefkühlerbsen wurde verkürzt und betrug ca. 7 Minuten. Anschließend wurden die Erbsen abgeseiht, mit einem Esslöffel in vorbereitete Gläser gefüllt und diese mit Frischhaltefolie abgedeckt.

Für den zweiten Tag wurden nachstehende Erbsen ausgewählt:

<b>Produkt</b>	<b>Marke</b>	<b>Herkunft</b>
Dosenerbsen	d’aucy	Frankreich
Glaserbsen	Bio Nova	Niederlande

Die Probenvorbereitung für die sensorische Evaluierung erfolgte nach [Periago et al., 1996b] und umfasste die Entwässerung der Dosen- und Glaserbsen und die anschließende Erwärmung in einem Wasserbad bei 50°C für 30 Minuten. Die Erbsenproben wurden wieder mit einem Esslöffel in vorbereitete Gläser gefüllt und mit Frischhaltefolie abgedeckt. Unmittelbar nach der Zubereitung konnten die frisch zubereiteten bzw. erwärmten Proben sensorisch evaluiert werden.

### 3.6.3 Durchführung

Die Proben wurden in einheitlichen Prüfgefäßen aus Glas dargereicht. Die mit Frischhaltefolie abgedeckten Gläser wurden auf einheitlichen Silbertabletts präsentiert. Alle Proben wurden mit einer dreistelligen Zufallszahl verschlüsselt. Jeder der 10 geschulten Panellisten (Training nach ISO-Norm 8586) bekam einen Esslöffel voll (ca. 10–15 g) von jeder Erbsensorte zur Verkostung. Um den Mund zwischen den Proben neutralisieren zu können, wurde in jeder Kabine ein Glas Leitungswasser bereitgestellt. Die sensorische Analyse wurde in einem speziell eingerichteten Sensorikraum (nach ISO-Norm 8589) durchgeführt.

### 3.6.4 Auswertung

Die Durchführung und Auswertung der QDA erfolgte mittels ANALSENS, einem speziell für die Lebensmittelsensorik erstellten Computerprogramm und in weiterer Folge mit dem Statistik-Programm SPSS. Es wurde für jedes einzelne Attribut jeder Erbsensorte der Mittelwert berechnet, welcher sich einerseits aus den Beurteilungen der 10 Panellisten und andererseits aus den beiden Durchgängen zusammensetzt (insgesamt 20 Ergebnisse). Die Ergebnisse der QDA wurden graphisch als Spiderwebs dargestellt. Dieses Netzdiagramm veranschaulicht die sensorischen Eigenschaften der analysierten Produkte und ermöglicht eine Interpretation der erhaltenen Produktprofile. Je weiter die Skalenpunkte vom Mittelpunkt des Diagramms entfernt sind, desto größer ist die Intensität der jeweiligen Produkteigenschaft.

## 3.7 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung von  $n$  Analyseergebnissen  $X_i$  einer Analyse  $X$  wurden der Mittelwert  $\bar{X}$  anhand von

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (3.2)$$

ermittelt und die Standardabweichung  $sd_X$  mit Hilfe von

$$sd_X = \sqrt{Var(X)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (3.3)$$

berechnet. Die Standardabweichung gibt die Fehlerbreite  $\pm sd_X$  einer Analyse an. Des Weiteren wurde der Variationskoeffizient  $VK$  anhand von

$$VK = \frac{\text{Standardabweichung}}{\text{Mittelwert}} = \frac{sd_X}{\bar{X}} \quad (3.4)$$

bestimmt, der auch als relative Standardabweichung bezeichnet wird. Üblicherweise, wie auch in der vorliegenden Arbeit, wird der VK in Prozent angegeben, weshalb er mit 100 multipliziert werden muss. Die statistische Auswertung erfolgte mit der Statistiksoftware SPSS 15.0 für Windows. Die erhaltenen Daten wurden mittels Kolmogorov-Smirnoff-Test auf Normalverteilung und Varianzhomogenität geprüft. Bei normalverteilten Analysen erfolgte der Mittelwertvergleich mit dem t-Test für unabhängige Stichproben, bei nicht normalverteilten Analysen mittels Mann-Whitney-Wilcoxon Test. Die signifikanten Mittelwertunterschiede wurden in folgende drei Niveaus unterteilt:

*	$p < 0.05$	signifikant
**	$p < 0.01$	hoch signifikant
***	$p < 0.001$	höchst signifikant

## 4. Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Vitamin C

#### 4.1.1 In Frischen Erbsen

In Frischen Erbsen wurde ein mittlerer TAA-Gehalt von  $137.41 \pm 17.09$  mg/100 g ermittelt, wobei die geringste Konzentration 122.28 mg/100 g und die höchste 153.11 mg/100 g betrug. Der Gehalt an L-AA lag im Durchschnitt bei  $89.04 \pm 4.22$  mg/100 g. Mit 84.89 mg/100 g wurde die geringste und mit 94.81 mg/100 g die höchste L-AA Konzentration gemessen. Der Gehalt an DHAA betrug durchschnittlich  $48.37 \pm 14.05$  mg/100 g, die niedrigste DHAA-Konzentration 35.65 mg/100 g und die höchste 64.00 mg/100 g. Der mittlere DHAA-Anteil betrug  $34.67 \pm 5.97\%$ , der geringste Anteil 28.99% und der höchste Anteil 41.80% (Tabelle 4.1, Abb. 4.1, Abb. 4.2).

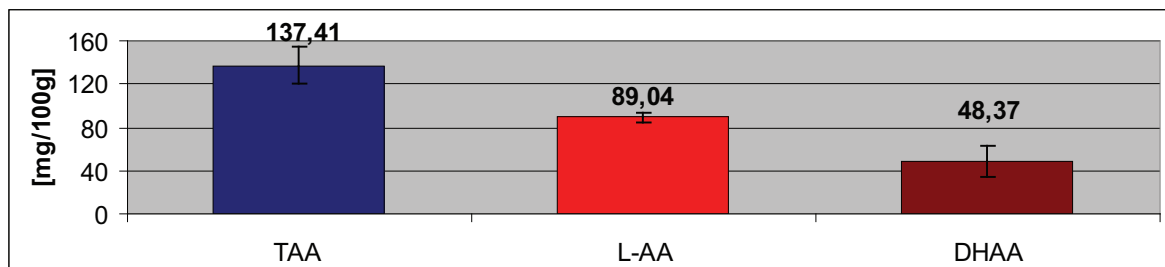


Abbildung 4.1: Vitamin C Konzentrationen (TAA,L-AA,DHAA) in Frischen Erbsen

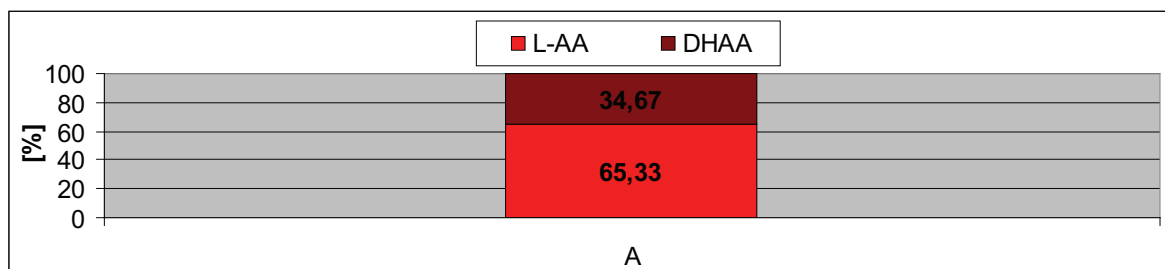


Abbildung 4.2: Prozentuelle Anteile der L-AA und DHAA in Frischen Erbsen

### 4.1.2 In Frischen Zuckerschoten-Erbsen

Die Zuckerschoten-Erbsen enthielten im Durchschnitt  $105.91 \pm 9.85$  mg/100 g TAA. Die niedrigste Konzentration wurde mit 92.22 mg/100 g und die höchste mit 111.69 mg/100 g ermittelt. Der mittlere L-AA Gehalt betrug  $54.13 \pm 3.75$  mg/100 g, wobei die geringste Konzentration mit 50.97 mg/100 g und die höchste mit 58.31 mg/100 g bestimmt wurde. Der durchschnittliche Gehalt an DHAA lag bei  $52.43 \pm 7.04$  mg/100 g. Die niedrigste DHAA-Konzentration betrug 43.95 mg/100 g und die höchste 61.33 mg/100 g. Der DHAA-Anteil lag im Durchschnitt bei  $49.10 \pm 1.65$  %, der geringste Anteil bei 47.93 % und der höchste bei 50.26 % (Tabelle 4.1, Abb. 4.3, Abb. 4.4).

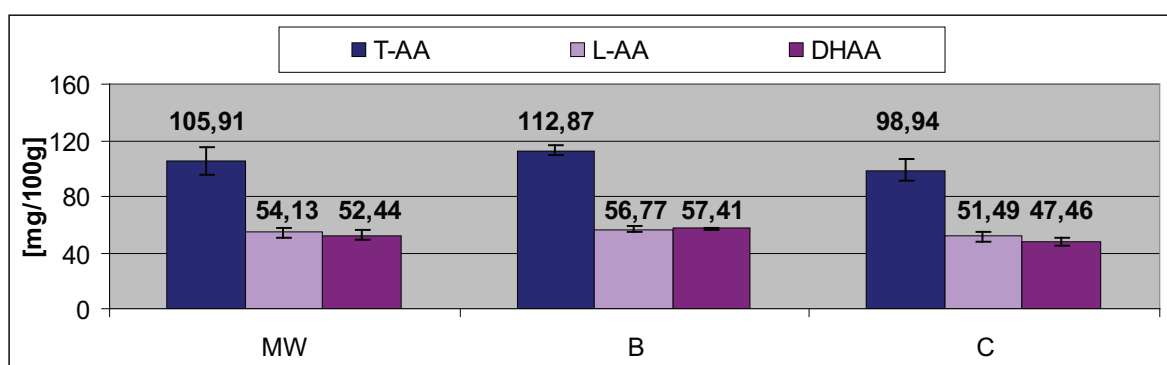


Abbildung 4.3: Vitamin C Konzentrationen (TAA,L-AA,DHAA) in Frischen ZS-Erbsen. MW sind die Mittelwerte von B und C

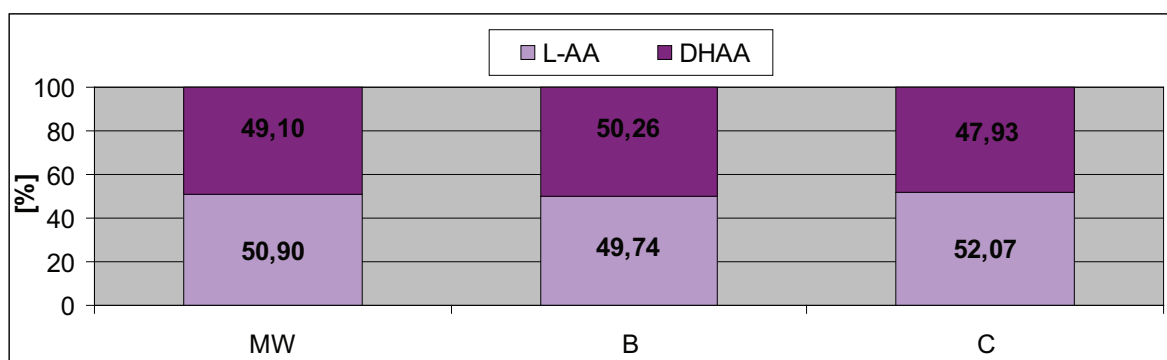


Abbildung 4.4: Prozentuelle Anteile der L-AA und DHAA in Frischen ZS-Erbsen. MW sind die Mittelwerte von B und C

### 4.1.3 In Tiefkühlerbsen

Die TAA-Konzentration in Tiefkühlerbsen lag im Durchschnitt bei  $74.86 \pm 8.51$  mg/100 g, wobei jedoch die niedrigste Konzentration mit 64.29 mg/100 g und die höchste mit

86.83 mg/100 g erfasst wurde. Der Gehalt an L-AA lag im Durchschnitt bei  $15.50 \pm 2.37$  mg/100 g. Der niedrigste Gehalt wurde mit 12.40 mg/100 g und der höchste mit 18.35 mg/100 g ermittelt. Die Konzentration an DHAA betrug durchschnittlich  $59.37 \pm 7.80$  mg/100 g, wobei mit 46.08 mg/100 g die geringste Konzentration und mit 70.61 mg/100 g die höchste erfasst wurde. Der niedrigste DHAA-Anteil betrug 71.66%, der höchste 82.23% und der durchschnittliche Anteil lag bei  $79.08 \pm 3.15\%$  (Tabelle 4.1, Abb. 4.5, Abb. 4.6).

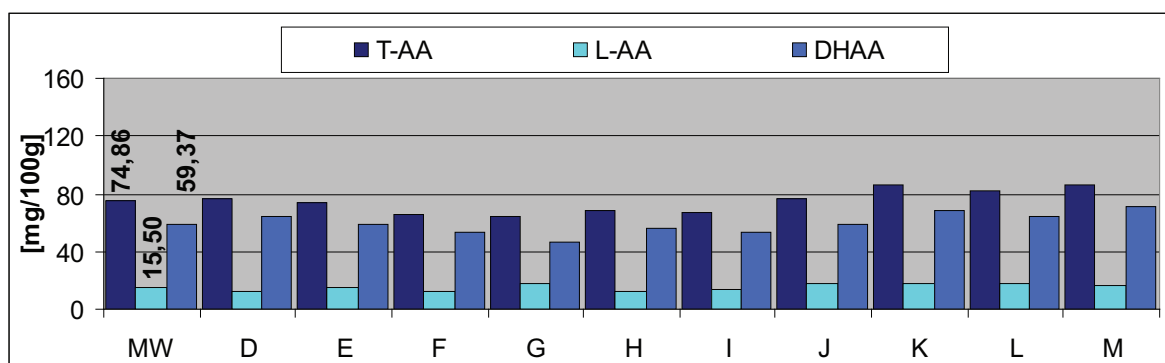


Abbildung 4.5: Vitamin C Konzentrationen (TAA,L-AA,DHAA) in Tiefkühlerbsen. MW sind die Mittelwerte von D bis M

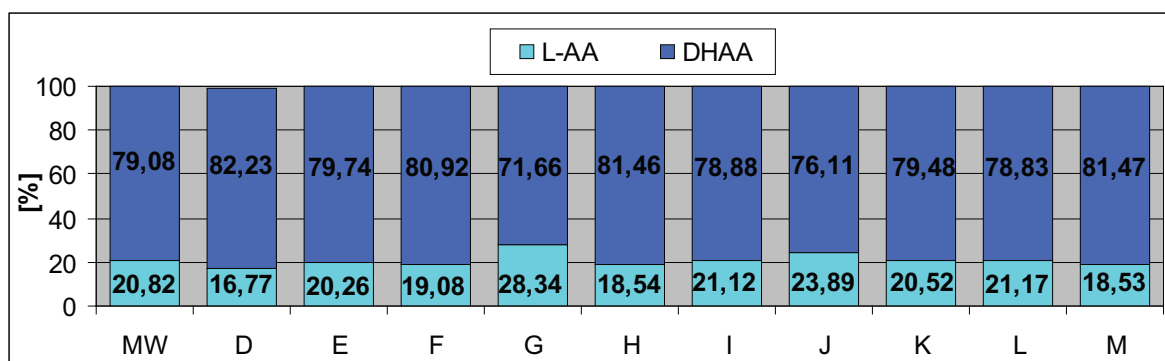


Abbildung 4.6: Prozentuelle Anteile der L-AA und DHAA in Tiefkühlerbsen. MW sind die Mittelwerte von D bis M

#### 4.1.4 In Dosenerbsen

In Dosenerbsen wurde im Durchschnitt ein Gesamascorbinsäuregehalt von  $82.94 \pm 10.57$  mg/100 g ermittelt. Die niedrigste Konzentration wurde mit 61.64 mg/100 g, die höchste mit 94.09 mg/100 g erfasst. Der Gehalt an L-Ascorbinsäure betrug im Mittel  $26.85 \pm 3.29$  mg/100 g. Mit 23.45 mg/100 g wurde der niedrigste Wert ermittelt, mit 32.06 mg/100 g der höchste Wert. Der DHAA-Gehalt der Dosenerbsen lag durchschnittlich

bei  $56.17 \pm 11.29$  mg/100 g. Der niedrigste Gehalt wurde mit 35.16 mg/100 g und der höchste mit 70.03 mg/100 g gemessen. Der geringste Anteil an DHAA wurde mit 57.01%, der höchste Anteil mit 74.64% berechnet. Der durchschnittliche DHAA-Anteil in Dosenerbsen lag bei  $67.13 \pm 6.23\%$  (Tabelle 4.1, Abb. 4.7, Abb. 4.8).

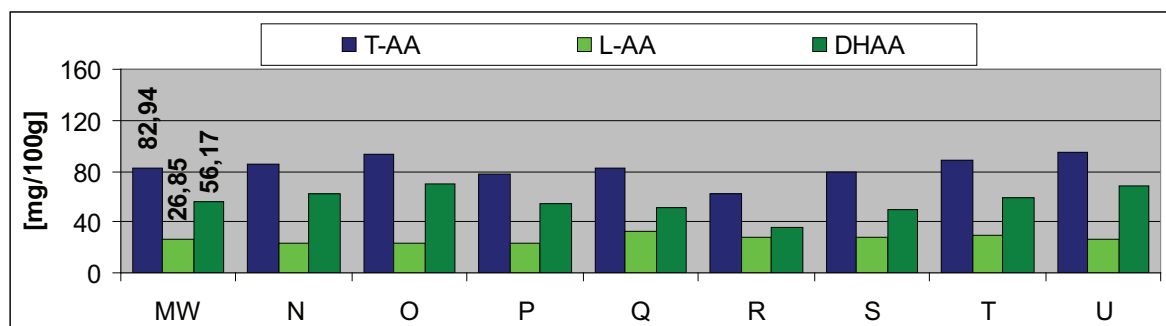


Abbildung 4.7: Vitamin C Konzentrationen (TAA, L-AA, DHAA) in Dosenerbsen. MW sind die Mittelwerte von N bis U

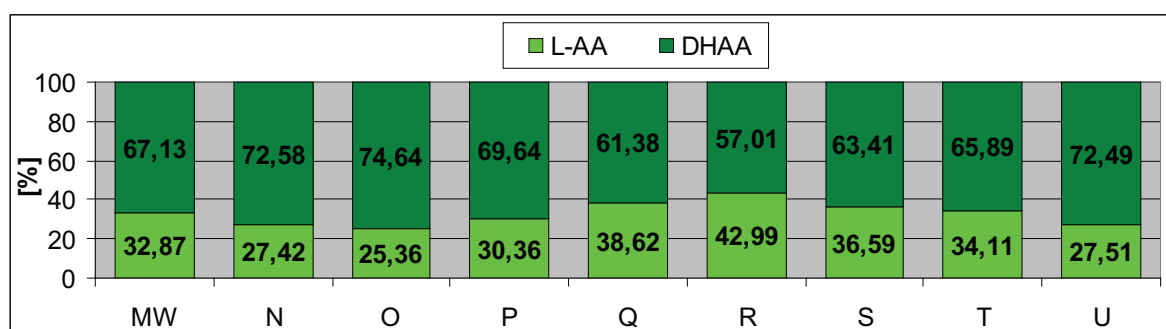


Abbildung 4.8: Prozentuelle Anteile der L-AA und DHAA in Dosenerbsen. MW sind die Mittelwerte von N bis U

## 4.1.5 In Glaserbsen

Die TAA-Konzentration in Glaserbsen betrug im Mittel  $79.08 \pm 9.49$  mg/100 g, wobei die niedrigste Konzentration mit 69.72 mg/100 g und die höchste mit 91.76 mg/100 g erfasst wurde. Der durchschnittliche Gehalt an L-Ascorbinsäure lag bei  $6.49 \pm 0.51$  mg/100 g. Der niedrigste Gehalt wurde mit 5.52 mg/100 g und der höchste mit 6.93 mg/100 g ermittelt. Die mittlere Konzentration der DHAA betrug  $72.59 \pm 9.14$  mg/100 g, wobei die niedrigste Konzentration bei 63.35 mg/100 g und die höchste bei 84.83 mg/100 g lag. Der DHAA-Anteil betrug im Durchschnitt  $91.75 \pm 0.71\%$ . Mit 90.87% konnte der geringste Anteil berechnet werden und mit 92.45% der höchste Anteil (Tabelle 4.1, Abb. 4.9, Abb. 4.10).



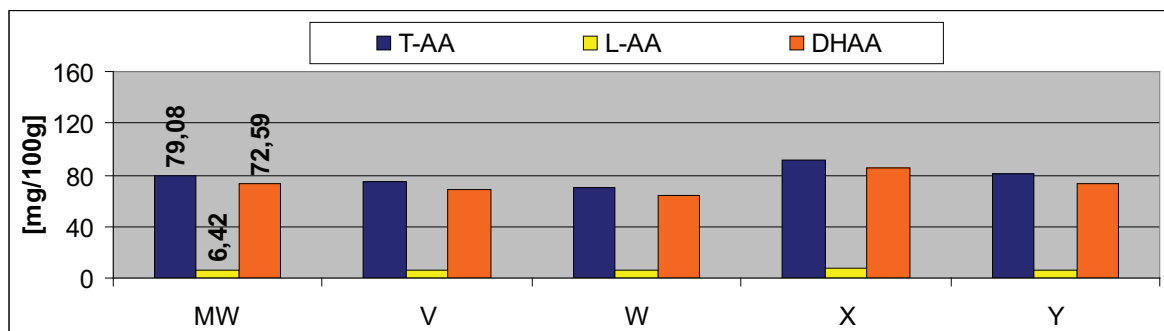


Abbildung 4.9: Vitamin C Konzentrationen (TAA,L-AA,DHAA) in Glaserbsen. MW sind die Mittelwerte von V bis Y

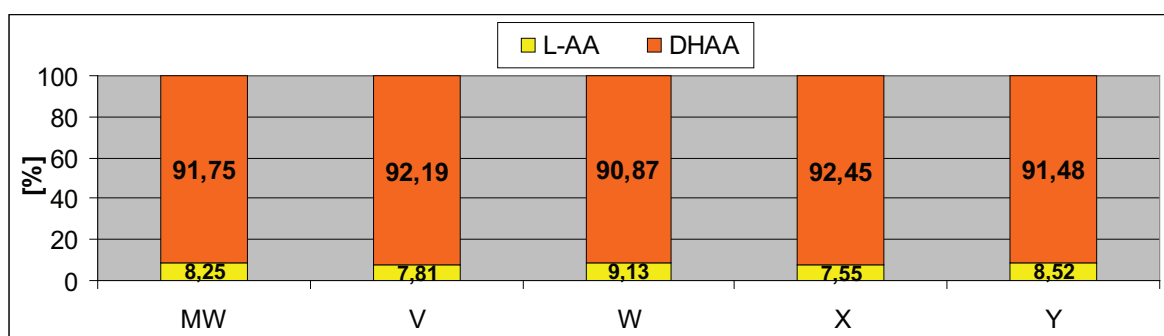


Abbildung 4.10: Prozentuelle Anteile der L-AA und DHAA in Glaserbsen. MW sind die Mittelwerte von V bis Y

Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über die erfassten Vitamin C-Gehalte der untersuchten Erbsen für jede Produktgruppe. Mittelwerte (MW), Standardabweichung (sd), sowie Minimal- und Maximalwerte der einzelnen Analysen sind aufgelistet.

#### 4.1.6 Vitamin C Gehalte der Erbsenprodukte im Vergleich

Der Vergleich des Gesamtascorbinsäuregehaltes der Frischen Erbsen ( $137.41 \pm 17.09$  mg/100 g) mit ZS-Erbsen ( $105.91 \pm 9.85$  mg/100 g) ergab keine signifikante Differenz. Die TAA der Frischen Erbsen zeigte auch im Vergleich mit den Tiefkühlerbsen ( $74.86 \pm 8.51$  mg/100 g) keine Signifikanzen. Zwischen der TAA der Frischen Erbsen und den Dosenerbsen ( $82.94 \pm 10.57$  mg/100 g) konnte jedoch ein höchst signifikanter Unterschied ( $p < 0.001$ ) festgestellt werden. Der Vergleich der Frischen Erbsen mit den Glaserbsen ( $79.08 \pm 9.49$  mg/100 g) zeigte einen hoch signifikanten Unterschied ( $p < 0.01$ ). Der Gesamtascorbinsäuregehalt der ZS-Erbsen unterschied sich höchst signifikant ( $p < 0.001$ ) vom Gesamtascorbinsäuregehalt der TK-Erbsen. Zwischen der TAA der ZS-Erbsen und der Dosenerbsen als auch zwischen den ZS-Erbsen und den Glaserbsen konnten signifikante Unterschiede ( $p < 0.05$ ) ermittelt werden. Die TAA-Gehalte der

Tabelle 4.1: *Vitamin C Gehalt der untersuchten Erbsen*

Parameter		MW $\pm$ sd	Minimum	Maximum
T-AA in mg/100g	Frisch	137.41 $\pm$ 17.09	122.28	153.11
	ZS	105.91 $\pm$ 9.85	98.94	112.87
	TK	74.86 $\pm$ 8.51	64.29	86.83
	Dose	82.94 $\pm$ 10.57	61.64	94.09
	Glas	79.08 $\pm$ 9.49	69.72	91.76
L-AA in mg/100g	Frisch	89.04 $\pm$ 4.22	84.89	94.81
	ZS	54.13 $\pm$ 3.74	51.49	56.77
	TK	15.50 $\pm$ 2.37	12.40	18.35
	Dose	26.85 $\pm$ 3.29	23.45	32.06
	Glas	6.49 $\pm$ 0.51	5.82	6.93
DHAA in mg/100g	Frisch	48.37 $\pm$ 14.05	35.65	64.00
	ZS	52.43 $\pm$ 7.04	47.46	57.41
	TK	59.37 $\pm$ 7.80	46.08	70.61
	Dose	56.17 $\pm$ 11.29	35.16	70.03
	Glas	72.59 $\pm$ 9.14	63.35	84.83
DHAA-Anteil in [%]	Frisch	34.67 $\pm$ 5.97	28.99	41.80
	ZS	49.10 $\pm$ 1.65	47.93	50.26
	TK	79.18 $\pm$ 3.27	71.66	83.23
	Dose	67.13 $\pm$ 6.23	57.01	74.64
	Glas	91.75 $\pm$ 0.71	90.87	92.45

**Frisch** ... Frische Erbsen (A)    **ZS** ... Zuckerschoten-Erbsen (B,C)  
**TK** ... Tiefkühlerbsen (D-M)    **Dose** ... Dosenerbsen (N-U)  
**Glas** ... Glaserbsen (V-Y)

Tiefkühlerbsen zeigten weder im Vergleich mit den Dosenerbsen, noch mit den Glaserbsen signifikante Differenzen. Zwischen dem Gesamtascorbinsäuregehalt der Dosenerbsen und der Glaserbsen konnte ebenfalls kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Der Gehalt an L-Ascorbinsäure in Frischen Erbsen ( $89.04 \pm 4.22$  mg/100 g) zeigte im Vergleich mit den ZS-Erbsen ( $54.13 \pm 3.74$  mg/100 g) und den Glaserbsen ( $6.49 \pm 0.51$  mg/100 g) einen signifikanten Unterschied ( $p < 0.05$ ). Der L-AA Gehalt der Frischen Erbsen unterschied sich höchst signifikant ( $p < 0.001$ ) vom L-AA Gehalt der Tiefkühlerbsen ( $15.50 \pm 2.37$  mg/100 g) und der Dosenerbsen ( $26.85 \pm 3.29$  mg/100 g). Ebenso wurde eine höchst signifikante Differenz ( $p < 0.001$ ) zwischen den L-AA Konzentrationen der ZS-Erbsen und der TK-Erbsen sowie zwischen den ZS-Erbsen und den Dosenerbsen ermittelt. Zwischen den L-AA Gehalten der ZS-Erbsen und der Glaserbsen wurde ein signifikanter Unterschied ( $p < 0.05$ ) bestimmt. Der Vergleich der L-AA Konzentrationen der Tiefkühlerbsen mit Dosenerbsen und Glaserbsen zeigte ebenso höchst signifikante Differenzen ( $p < 0.001$ ). Ein weiterer höchst signifikanter Unterschied ( $p < 0.001$ ) konnte zwischen den L-AA Gehalten von Dosenerbsen und Glaserbsen festgestellt werden.

Die Konzentrationen der Dehydroascorbinsäure zwischen den einzelnen Produktgruppen ließen im Gegensatz zu den L-AA Konzentrationen nur zwei statistisch signifikante Unterschiede erkennen. Die DHAA-Gehalte der Frischen Erbsen ( $48.37 \pm 14.05$  mg/100 g) zeigten weder mit den ZS-Erbsen ( $52.43 \pm 7.04$  mg/100 g), den Tiefkühlerbsen ( $59.37 \pm 7.80$  mg/100 g), noch mit Dosenerbsen ( $56.17 \pm 11.29$  mg/100 g) oder Glaserbsen ( $72.59 \pm 9.14$  mg/100 g) signifikante Unterschiede. Gleichmaßen zeigten die DHAA-Gehalte der ZS-Erbsen keine signifikanten Unterschiede mit den DHAA-Gehalten der anderen Produktgruppen. Der Vergleich der DHAA-Konzentrationen der Tiefkühlerbsen mit den Dosenerbsen lieferte ebenfalls keine Signifikanzen. Jedoch konnte ein signifikanter Unterschied ( $p < 0.05$ ) zwischen den DHAA-Gehalten der Tiefkühlerbsen und der Glaserbsen ermittelt werden. Der Vergleich der DHAA-Konzentrationen von Dosenerbsen und Glaserbsen zeigte ebenso eine signifikante Differenz ( $p < 0.05$ ) (Tabelle 4.2).

Tabelle 4.2: *Signifikante Unterschiede der Vitamin C-Konzentrationen*

Produktgruppe	TAA	L-AA	DHAA
Frisch/ZS	—	*	—
Frisch/TK	—	***	—
Frisch/Dose	***	***	—
Frisch/Glas	**	*	—
ZS/Frisch	—	*	—
ZS/TK	***	***	—
ZS/Dose	*	***	—
ZS/Glas	*	*	—
TK/Frisch	—	***	—
TK/ZS	***	***	—
TK/Dose	—	***	—
TK/Glas	—	***	*
Dose/Frisch	***	***	—
Dose/ZS	*	***	—
Dose/TK	—	***	—
Dose/Glas	—	***	*
Glas/Frisch	**	*	—
Glas/ZS	*	*	—
Glas/TK	—	***	*
Glas/Dose	—	***	*
* ... signifikant ( $p < 0.05$ )			
** ... hoch signifikant ( $p < 0.01$ )			
*** ... höchst signifikant ( $p < 0.001$ )			
— ... nicht signifikant			

### 4.1.7 Diskussion der Vitamin C Ergebnisse

Der Begriff Vitamin C gilt für alle Verbindungen, die qualitativ die biologische und physiologische Wirkung der Ascorbinsäure ausüben können. Neben der L-Ascorbinsäure (L-AA) selbst zählt auch ihre oxidierte Form, die Dehydro-L-Ascorbinsäure (DHAA), dazu. Mit der in vorliegender Arbeit angewandten HPLC-Methode konnten beide Vitamin C Formen bestimmt werden.

Der Vergleich der Ergebnisse der untersuchten Erbsenprodukte mit den Literaturangaben zeigte einige Unterschiede (Tabelle 4.3).

Tabelle 4.3: *Vergleich der erhaltenen Vitamin C Konzentrationen mit den Literaturdaten. L-AA Gehalt in mg/100 g essbarer Anteil.*

	<b>FrISCHE Erbsen</b>	<b>ZS– Erbsen</b>	<b>TK– Erbsen</b>	<b>Dosen– Erbsen</b>	<b>Glas– Erbsen</b>
Eigene Daten	89	54	15	27	7
Elmadfa et al. [2008/2009]	25	–	–	9	–
Souci et al. [2008]	25	–	–	9	–
Favell [1998]	30	–	22	–	–
Hunter und Fletcher [2002]	18	–	19	5	7
Makhlouf et al. [1995]	22	–	20	8	–
Bruhn et al. [2007a]	32	–	21	13	–
Bisovsky et al. [2004]	30	–	20	10	–
Stark [2005]	–	–	54	–	–

Der ermittelte L-AA Gehalt in Friscen Erbsen ( $89.04 \pm 4.22$  mg/100 g) war im Vergleich von Hunter und Fletcher [2002] (18 mg/100 g) und Makhlouf et al. [1995] (22 mg/100 g) gemessenen L-AA Gehalten um 80% bzw. 75% größer. Im Vergleich zu den von Elmadfa et al. [2008/2009] und Souci et al. [2008] angegebenen L-AA Konzentrationen (25 mg/100 g) war die in der vorliegenden Arbeit bestimmte L-AA Konzentration um 72% größer. Die L-AA Gehalte in Friscen Erbsen, die von Favell [1998] und Bisovsky et al. [2004] (30 mg/100 g) bzw. von Bruhn et al. [2007a] (32 mg/100 g) festgestellt wurden, waren im Vergleich zu den eigenen Daten um 66% bzw 65% kleiner.

Bei Betrachtung der L-AA Konzentrationen der Tiefkühlerbsen sind die Unterschiede zwischen den eigenen Daten und den Literaturdaten etwas geringer. Der in vorliegender Arbeit ermittelte L-AA Gehalt in Tiefkühlerbsen ( $15.50 \pm 2.37$  mg/100 g) war im Vergleich zu dem gemessenen Gehalt von Hunter und Fletcher [2002] (19 mg/100 g), Makhlouf et al. [1995] und Bisovsky et al. [2004] (20 mg/100 g), Bruhn et al. [2007a] (21 mg/100 g), Favell [1998] (22 mg/100 g) und Stark [2005] (54 mg/100 g) um 21%, 25%, 29%, 32% und 72% kleiner.

Der Vergleich der L-AA Konzentrationen der Dosenerbsen zeigt wiederum größere Unterschiede zwischen den eigenen Daten und den Angaben in der Literatur. Der in der vorliegenden Arbeit ermittelte Gehalt an L-AA in Dosenerbsen ( $26.85 \pm 3.29$  mg/100 g)

war im Vergleich zu dem von Hunter und Fletcher [2002] (5 mg/100 g) gemessenen L-AA Gehalt um 81% größer, zu dem von Makhoul et al. [1995], Elmadfa et al. [2008/2009], Souci et al. [2008] und Bisovsky et al. [2004] (8–10 mg/100 g) und von Bruhn et al. [2007a] (13 mg/100 g) gemessenen L-AA Gehalten um 70–63% bzw. 52% größer.

Der in vorliegender Arbeit ermittelte L-AA Gehalt in Glaserbsen ( $6.49 \pm 0.51$  mg/100 g) stimmt mit den von Hunter und Fletcher [2002] festgestellten L-AA Gehalten (7 mg/100 g) überein.

Vitamin C wird durch Lagerung, Verarbeitungsprozesse und auch durch die Zubereitung abgebaut. Die reduzierte Form von Vitamin C, die L-Ascorbinsäure, wird durch Oxidation über die ebenfalls vitaminwirksame DHAA zur Diketogulonsäure, die keine Vitaminwirksamkeit mehr besitzt, abgebaut. Dieser Abbau erfolgt zum einen durch Enzyme, zum anderen durch chemische Oxidation [Elmadfa und Leitzmann, 2004; Gökmen et al., 2005; Herrmann, 1996].

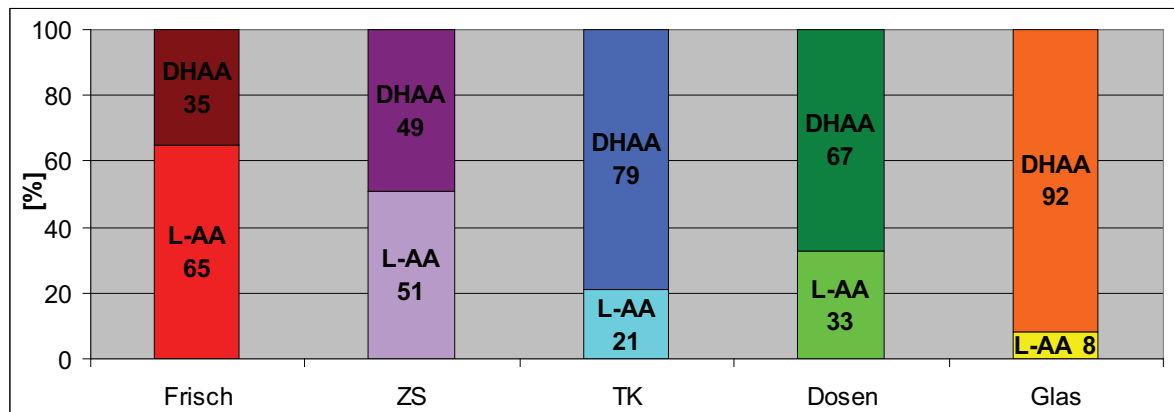
Vitamin C Verluste treten bereits bei den Vorbereitungsarbeiten auf. Dazu zählen mechanische Verarbeitungsprozesse (z.B. Schälen, Entstielen), Waschen, Sortieren, Zerkleinern und thermische Verarbeitungsprozesse (z.B. Blanchieren, Dämpfen). Besonders Blattgemüse verlieren durch Zurechtschneiden der äußeren Blätter viel von ihrem Vitamin C Gehalt, da diese Blätter mehr Vitamine enthalten als die inneren [Lee und Kader, 2000]. Vitamin C Auslaugverluste beim Waschen variieren je nach Art des Gemüses und Zerkleinerungsgrad nach 15 Minuten zwischen 2% und 30% und nach 60 Minuten bereits bis zu 60% [Frisch, 2007].

Das Ausmaß des Vitaminabbaus wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst, wie z.B. Art, Sorte, pH-Wert (Vitamin C ist im sauren Milieu stabiler), Anwesenheit von Radikalen, äußere Beschaffenheit des Lebensmittels, Präsenz von Sauerstoff, Metallionen (Cu, Fe) und Mineralstoffen, Enzymaktivitäten, Zerkleinerungs- und Verarbeitungsgrad der Produkte, sowie vom Garverfahren, Garzeit, Gartemperatur und der Kochwassermenge. Die Vitamin C Verluste betragen beim Kochen von Blatt-, Blüten-, Frucht- und Knollengemüse durchschnittlich 35%, beim Dämpfen 25% und beim Dünsten 20%. Die größten Vitamin C Verluste treten beim Kochen aufgrund der großen Auslaugverluste durch das Wasser auf [Bognár, 1995; Becker, 1996; Lee und Kader, 2000].

Die Ergebnisse der in vorliegenden Studie untersuchten Erbsenprodukte zeigen, dass die höchsten Vitamin C Gehalte (TAA) in frischen Erbsen ( $137.41 \pm 17.09$  mg/100 g) und in den Frischen ZS-Erbsen ( $105.91 \pm 9.85$  mg/100 g) zu finden waren und dass die industriell hergestellten Erbsenprodukte (TK-Erbsen  $74.86 \pm 8.51$  mg/100 g; Dosenerbsen  $82.94 \pm 10.57$  mg/100 g; Glaserbsen  $79.08 \pm 9.49$  mg/100 g) recht ausgeglichene Vitamin C Gehalte (T-AA) aufwiesen. Jedoch waren bei Betrachtung der L-AA/DHAA-Verhältnisse deutliche Unterschiede zu beobachten (Abb. 4.11).

Das L-AA/DHAA-Verhältnis der Frischen Erbsen (L-AA : DHAA = 1.9 : 1 = 65% : 34%) weist auf eine frische Ware hin, was man anhand des deutlich höheren Anteils an L-AA im Vergleich zu DHAA feststellen kann. Hingegen zeigten die L-AA/DHAA-Verhältnisse der industriell haltbargemachten Produkte, dass die Abbauprozesse in den jeweiligen Produkten unterschiedlich ablaufen.

Die Tiefkühlerbsen wiesen einen durchschnittlichen L-AA- und DHAA-Gehalt von 15.50 mg/100 g und 59.37 mg/100 g auf, wodurch sich folgendes L-AA/DHAA-Verhältnis

Abbildung 4.11: *L-AA/DHAA-Verhältnisse der Erbsenprodukte*

ergab:  $L-AA : DHAA = 1 : 3.7 = 21\% : 79\%$ . Für Dosenerbsen resultierte das Verhältnis wie folgt:  $L-AA : DHAA = 1 : 2 = 33\% : 67\%$ . Für die Glaserbsen war das Verhältnis folgendermaßen:  $L-AA : DHAA = 1 : 11.5 = 8\% : 92\%$ . Die Abbildung 4.11 zeigt deutlich, dass es durch die industrielle Bearbeitung zu Abbauvorgängen kommt, die dazu führen, dass ein großer Teil der L-Ascorbinsäure zu Dehydroascorbinsäure oxidiert wird.

Bei der Produktion von Gemüsekonserven spielt vor allem der Blanchiervorgang eine große Rolle. Dieser wird bei allen zu konservierenden Gemüsearten im Sinne der Qualitätserhaltung angewandt. Mit dem kurzzeitigen Vorbrühen werden pflanzeigene Enzyme (z.B. Ascorbat-Oxidase) inaktiviert, die einen Vitamin C Abbau verursachen können. Weiters kommt es auch zur Entgasung der Interzellularräume, wodurch oxidative und enzymatische Veränderungen vermindert werden. Gleichzeitig treten aber auch Blanchierverluste von z.B. Vitamin C auf, die von Art, Dauer und Temperatur des Blanchiervorganges sowie der Gemüseart und deren Zerkleinerungsgrad abhängig sind. Beim Wasserblanchieren liegen die Verluste an Vitamin C zwischen 10% und 50%, wobei Blattgemüse und feinstückige Güter wie Erbsen höhere Verluste erleiden als großstückige Güter wie Karfiol [Herrmann, 1996; Berger, 2006].

Da die frischen Erbsen keinerlei thermische Einwirkung (Blanchieren, Kochen) erfahren haben, sind die Vitamin C und vor allem die Gehalte an L-AA überaus hoch. Die ermittelten DHAA-Gehalte sind auf die Lagerung nach der Ernte zurückzuführen. Da die Erbsen auf einem offenen Markt gekauft wurden, können über die genaue Zeitspanne und die Bedingungen der Lagerung keine Angaben gemacht werden. Bei der Lagerung von frischem Gemüse treten jedoch Veränderungen auf, da nach der Ernte die natürlichen Stoffwechselvorgänge länger aktiv sind. So kommt es zur Reifung, Alterung, zu Vitaminabbau sowie zu Um- bzw. Abbau von Inhaltsstoffen.

Die Vitamin C Unterschiede zwischen Frischen Erbsen und Tiefkühl-, Dosen- und Glaserbsen lassen sich, neben den allgemeinen Faktoren wie Sorte, Anbau- und Klimabedingungen, durch die Auswirkungen der thermischen Behandlung erklären.

Die Gefrierkonservierung besteht aus den Verfahrensschritten Blanchieren und Gefrieren, der Gefrierlagerung und dem Auftauen. Die Gefriergeschwindigkeit hat bei vielen

Lebensmitteln einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität der gefrorenen Produkte. Folglich gibt es Lebensmittel, die entweder eine geringe Gefriereschwindigkeit (z.B. Fisch) oder eine sehr hohe Gefriereschwindigkeit (z.B. Tomaten) benötigen. Überdies gibt es jedoch auch Lebensmittel, deren Qualität nicht durch die Gefriereschwindigkeit beeinflusst wird, wie z.B. bei grünen Erbsen. Bei nicht sachgemäßer Gefrierlagerung kann es zu Vitaminverlusten kommen, wenn die optimale Gefriertemperatur nicht erreicht wird. Bei  $-30^{\circ}\text{C}$  ist jedoch bei einer längeren Lagerung mit keinem Verlust an Vitaminen zu rechnen. Bei Temperaturen um  $-18^{\circ}\text{C}$  sind Vitaminverluste stark von der Lagerungsdauer abhängig. Beispielsweise enthalten Erbsen nach 6 Monaten bei  $-18^{\circ}\text{C}$  durchschnittlich noch mehr als 80% des ursprünglichen Vitamin C Gehaltes, nach 12 Monaten noch ca. 65%. Im Gegensatz dazu weisen bei  $-9^{\circ}\text{C}$  gelagerte Erbsen bereits nach 6 Monaten nur noch die Hälfte des ursprünglichen Gehaltes an Ascorbinsäure auf. Nach einer Lagerungsdauer von 9–12 Monaten bei  $-10^{\circ}\text{C}$  bis  $-12^{\circ}\text{C}$  sind in Gemüse etwa 80–90% des nach dem Blanchieren vorhandenen Vitamin C abgebaut, hingegen kommt es bei einer Gefriertemperatur von  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $-25^{\circ}\text{C}$  in der gleichen Zeit zu einem Vitamin C Verlust von nur 10% [Timm, 1996a]. Für Erbsen wurde eine Gefrierlagerung bei  $-20^{\circ}\text{C}$  und einer Lagerungsdauer von bis zu 18 Monaten als geeignet bezeichnet. Erst nach einer Lagerdauer von 3–6 Jahren bei  $-18^{\circ}\text{C}$  konnten deutliche Mängel in ursprünglich einwandfreier Ware bei richtiger Behandlung und einwandfreier Verpackung beobachtet werden, die zur Unverkäuflichkeit führten. Untersuchungen zeigten, dass nach dem Blanchiervorgang die Restaktivität an Peroxidase und Polyphenoloxidase während einer Gefrierlagerung von 12 Monaten in etwa gleich blieben, während die Restaktivität an Lipoxidase in diesem Zeitraum etwas anstieg. Hingegen nahmen die Grüne Farbe und Festigkeit der Produkte mit der Länge der Lagerung graduell ab [Herrmann, 1996].

Die Auftaugeschwindigkeit hat bei Obst und Gemüse nur einen geringen Einfluss auf die Qualität [Herrmann, 1996; Lee und Kader, 2000; Kunis, 2004]. Allgemein lässt sich sagen, dass beim Garen von tiefgefrorenen Gemüsearten die Garzeit bis zu einem Drittel verringert ist als bei Verwendung von frischem Gemüse. Weiters kann man mit gleichen oder geringeren Vitaminverlusten rechnen wie beim Garen von Frischgemüse. Beim Garen von tiefgefrorenen Erbsen und Bohnen wurde ein ca. 10% geringerer Verlust an Vitamin C beobachtet, im Vergleich zu frischen Proben. Durch Auftauen vor dem Garen erhöhte sich der Verlust um 4–7% [Herrmann, 1996].

Vitamingehalte von tiefgefrorenem Gemüse sind oft höher als von frischem, weil das so genannte frische bei den Konsumenten selten erntefrisch verarbeitet wird, im Gegensatz zum Tiefkühlgemüse in der Industrie, welches fast unmittelbar nach der Ernte tiefgefroren wird [Favell, 1998].

Bei der Hitzesterilisierung wird Gemüse in Weißblechdosen oder Glaskonserven mit Aufgussflüssigkeit gefüllt, verschlossen und anschließend bei über  $100^{\circ}\text{C}$  erhitzt. Ziel ist die Abtötung krankheits- und verderbniserregender Mikroorganismen sowie die Inaktivierung endogener Enzyme. Gleichzeitig wird aber auch die sensorische Qualität und der Nährstoffgehalt beeinflusst. Die Temperatur, die Agitationsgeschwindigkeit und der Kopfraum haben Einfluss auf Vitamin C Gehalte und die Oberflächenfarbe der Dosenerbbsen [Garotte et al., 2006]. Lee [1989] ermittelte in Dosenerbsen einen signifikant geringeren Vitamin C Gehalt als in frischen Erbsen.

Bei Gemüsekonserven muss berücksichtigt werden, dass ein erheblicher Anteil von Vitamin C in die Aufgussflüssigkeit übergeht. Ungefähr 2/3 des ursprünglichen Vitamin C Gehaltes in grünen Erbsen sind durch die Verarbeitung verloren gegangen. Sobald Dosenerbsen eine begrenzte Menge an Sauerstoff enthalten, kann sowohl aerober als auch anaerober Abbau von Vitamin C während der Erhitzung stattfinden [Lathrop und Leung, 1980]. Die Auslaugung von Vitaminen aus Früchten und Gemüse in die Aufgussflüssigkeit während des Verarbeitungs- oder Kochprozesses hat nur dann eine geringe Bedeutung, wenn diese Flüssigkeit zusammen mit den Früchten oder dem Gemüse verzehrt wird. Es stellt aber einen ernsthaften Verlust dar, wenn der Liquor vor dem Verzehr abgossen wird. Wird Gemüse jedoch gedämpft oder druckerhitzt anstatt gekocht, ist der Auslaugeffekt deutlich geringer, dennoch kann ein größerer Vitamin C Verlust aufgrund von Oxidation erwartet werden [Ball, 2006]. Die Hitzesterilisation der Konserven kann Vitamin C ähnlich dem Tiefgefrieren erhalten, während die Lagerung von frischen Lebensmitteln zu einem Vitamin C Verlust führen würde [Franke et al., 2004].

Die geringeren Vitamin C Gehalte, die in verarbeiteten Lebensmitteln im Vergleich zu unverarbeiteten Lebensmitteln gefunden wurden, sind bekannt und werden neben der Hitzeeinwirkung beträchtlich durch Oxidationsvorgänge, die durch Enzyme oder Metallionen beschleunigt werden, verursacht [Franke et al., 2004].

Besonders ausgeprägt scheint die Oxidation von L-AA zu DHAA in Glaserbsen zu sein. Gründe dafür könnten zum einen das lichtdurchlässige Verpackungsmaterial Glas sein und zum anderen der Umstand, dass Glaskonserven, aufgrund der Wärmeausdehnung während des Sterilisationsvorganges, einen Kopfraum von 8% aufweisen müssen. Da Vitamin C gegenüber Licht empfindlich ist und in wässriger Lösung leichter oxidiert werden kann, sind Sonnenlicht und der eingeschlossene Sauerstoff in der Lage, das vorhandene Vitamin C zu oxidieren.

Das L-AA/DHAA Verhältnis in Tiefkühlerbsen kann einerseits auf den Blanchiervorgang und andererseits auf transport- bzw. lagerungsbedingte Einflüsse zurückgeführt werden. Tiefgefrorene Lebensmittel durchlaufen von der Herstellung bis zum Verbrauch verschiedene Stationen. Sie werden über weite Entfernungen transportiert und teilweise über viele Monate gelagert, damit sie möglichst das ganze Jahr über zur Verfügung stehen. Die einzelnen Abschnitte der Tiefkühlkette (Lagerung, Transport, Verkauf) sollten eine möglichst gleichmäßig tiefe Temperatur einhalten. Jedoch sind einige Temperaturerhöhungen unvermeidlich, wodurch es folglich zu Oxidationsprodukten aufgrund von Auftauprozessen kommen kann [Timm, 1996b].

Der bei den Dosenerbsen am geringsten ausgefallene L-AA Abbau kann dadurch begründet werden, dass einerseits das Verpackungsmaterial Weißblech einen größeren Schutzfaktor im Vergleich zu Glas besitzt und dass andererseits die Dosen vor der Hitzesterilisierung randvoll gefüllt werden und sich somit kaum Sauerstoff in den Dosen befinden kann, der eine Oxidation von Vitamin C ermöglichen würde. Die durch den oxidativen Abbau entstandene DHAA kann zu weiteren Oxidationsprodukten wie Diketogulonsäure abgebaut werden [Gökmen et al., 2005] und kann dadurch zu Verlusten an TAA führen.

Beim Vitaminabbau sind neben dem Gehalt an Vitaminen und Enzymen im Ausgangsprodukt auch der Erwärmungsvorgang sowie die einwirkende Hitze- und Wasser-



menge bei der Zubereitung oder der Lagerungsdauer, als auch die Regenerationsfähigkeit der Oxidationsenzyme zu berücksichtigen [Becker, 1996; Robinson und Eskin, 1991; Herrmann, 1996]. Die meisten Gemüsearten enthalten 1–10% hitzestabile Isoenzyme der Peroxidase, die mit einer meist geringen Enzymregeneration im gefrorenen Produkt verbunden sein können [Herrmann, 1996]. Pflanzeneigene Peroxidaseenzyme werden erst bei Temperaturen über 70°C (75–82°C) inaktiviert [Bognár, 1995; Becker, 1996]. In Gemüse ist die Peroxidase sowohl in gelöster Form im Zellcytoplasma als auch in ungelöster Form, durch ionische- oder kovalente Bindung an die Zellwand, vorhanden [Morales-Blancas et al., 2002]. Oxidative Enzyme wie die Ascorbatperoxidase sind sehr thermostabil, da die Peroxidasen als Gruppe von Isoenzymen vorliegen und in verschiedenen Oxidationsstadien existieren können. Ebenso katalysieren Peroxidasen chemische Reaktionen, welche Radikale erzeugen, die eine Kettenreaktion verursachen können. Auch die Aktivität anderer Enzyme (z.B.: Cellulasen, Polygalacturonasen) kann durch Peroxidasen verstärkt werden. Zudem besitzen Peroxidasen die Fähigkeit zur Regeneration, wobei diese Fähigkeit stärker ausgeprägt ist, je thermostabiler die enthaltenen Enzyme sind. Besonders hitzebeständig sind z.B. die Isoperoxidasen von Brassica Arten (z.B. Broccoli, Karfiol, Kohl) [Robinson und Eskin, 1991; Herrmann, 1996].

Auch wenn die Lagerung von Lebensmitteln immer mit einem gewissen Vitaminverlust einhergeht, so hängt die Geschwindigkeit der Abbaureaktionen von Einflussfaktoren wie Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Sauerstoffgehalt und der Verpackung ab. Allerdings ist der Vitamin C Abbau nicht nur von den Lagerungsbedingungen abhängig, sondern auch vom pH-Wert des Zellsafts, dem Zustand des Lebensmittels (intakte Struktur oder Verletzungen) und dem Gehalt pflanzeneigener Enzyme (z.B. Polyphenoloxidasen) [Bognár, 1995]. Da Vitamin C sehr empfindlich auf verschiedene Lagereinflüsse reagiert, ist es ein geeigneter Indikator um Qualitätsveränderungen während des Transports, der Bearbeitung und der Lagerung zu überwachen [Favell, 1998].

Beim Vergleich der ermittelten TAA Gehalte, der in vorliegender Studie untersuchten Erbsenprodukte, müssen die unterschiedlichen Gargrade berücksichtigt werden. Die Frischen Erbsen und ZS-Erbsen wurden in keiner Weise thermisch behandelt. Da aber Frische Erbsen vor dem Verzehr gekocht werden und die ZS-Erbsen zumindest stark erhitzt werden, wird sich der Vitamin C Gehalt verringern. Im Vergleich zu den frischen Erbsen werden die tiefgekühlten Erbsen in einer geringeren Kochzeit gar sein, da sie bereits im Blanchierprozess thermisch behandelt wurden. Die Dosen- und Glaserbsen sind bereits durch den Sterilisationsvorgang fertig gegart und müssen nicht mehr gekocht werden.

Die Aufrechterhaltung der enthaltenen Vitamin C Konzentrationen erweist sich bei den Frischen Erbsen und den ZS-Erbsen als am schwierigsten, da hierfür geeignete Luft- und Sauerstoffbedingungen erforderlich sind und die Abbauvorgänge somit ungehindert voran schreiten können. Bei den tiefgekühlten Erbsen sind ebenfalls konstante tiefe Temperaturen notwendig, bei denen es jedoch trotzdem zu Vitaminverlusten kommen kann. Bei der Lagerung von Glaserbsen ist auf eine dunkle und kühle Lagerungsstätte zu achten, hingegen ist die Lagerung von Dosenerbsen am einfachsten, da keine äußeren Einflüsse auf das Dosengut einwirken können und der Vitamingehalt stabil bleibt.

## 4.2 Carotinoide

### 4.2.1 Gesamt-Carotinoide

Da die Erbsenproben auf ihren Gehalt von Lutein, Zeaxanthin, Cryptoxanthin,  $\alpha$ -Carotin und  $\beta$ -Carotin untersucht wurden, setzt sich die Gesamt-Carotinoidkonzentration aus den Werten der fünf bestimmten Carotinoiden zusammen. In Abb. 4.12 sind die Gesamt-Carotinoidkonzentrationen der jeweiligen Produktgruppe graphisch dargestellt.

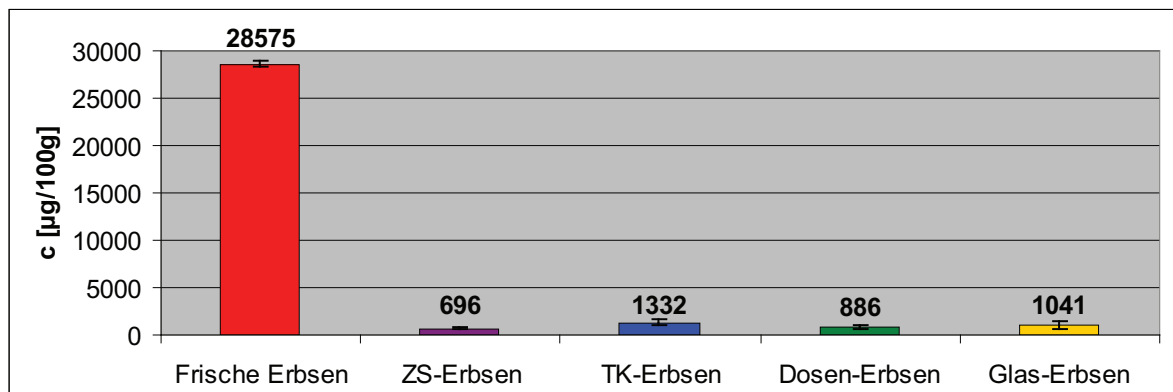


Abbildung 4.12: Gesamt-Carotinoidgehalte der untersuchten Erbsenprodukte

In Frischen Erbsen wurde der höchste durchschnittliche Gesamt-Carotinoidgehalt mit  $28574.62 \pm 300.35 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  ermittelt, wobei der niedrigste Gehalt  $28319.03 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  und der höchste  $28905.43 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  betrug. Der geringste Gesamt-Carotinoidgehalt wurde mit  $696.36 \pm 135.53 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  in den Zuckerschoten-Erbsen festgestellt. Hierbei lag der niedrigste Gehalt bei  $600.52 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  und der höchste bei  $792.19 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ . Die mittlere Gesamt-Carotinoidkonzentration der Tiefkühlererbsen wurde mit  $1331.63 \pm 254.47 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  ermittelt. Die geringste Konzentration betrug  $828.12 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  und die höchste  $1754.15 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ . Dosen-Erbsen wiesen einen durchschnittlichen Gesamt-Carotinoidgehalt von  $886.37 \pm 213.41 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  auf, wobei der niedrigste Gehalt mit  $669.39 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  und der höchste Gehalt mit  $1296.87 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  eruiert wurde. Glas-Erbsen enthielten im Mittel eine Gesamt-Carotinoidkonzentration von  $1040.68 \pm 322.13 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ . Die geringste Konzentration betrug  $777.13 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  und die höchste  $1454.81 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  (Tabelle 4.4, Abb. 4.12).

### 4.2.2 Einzelne Carotinoide

#### 4.2.2.1 In Frischen Erbsen

Der Lutein-Gehalt in Frischen Erbsen lag im Mittel bei  $20032.01 \pm 687.19 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ . Mit  $19617.24 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  wurde der geringste Gehalt und mit  $20825.24 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  der höchste Gehalt ermittelt. Die Konzentration von Zeaxanthin betrug  $5616.07 \pm 574.24 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ , wobei die geringste Konzentration mit  $4963.85 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  und die höchste mit  $6045.68 \mu\text{g}/100 \text{ g}$

g detektiert wurde. Die Cryptoxanthin-Konzentration lag im Durchschnitt bei  $44.65 \pm 3.80 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ . Die geringste Konzentration betrug  $42.44 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  und die höchste  $49.05 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ . Die mittlere Konzentration von  $\alpha$ -Carotin wurde mit  $14.26 \pm 2.01 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  ermittelt, wobei die geringste Konzentration bei  $12.90 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  und die höchste bei  $16.57 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  lag. Der durchschnittliche Gehalt von  $\beta$ -Carotin in Frischen Erbsen lag bei  $2867.63 \pm 161.43 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ . Der niedrigste Gehalt wurde mit  $2771.45 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  ermittelt, der höchste mit  $3054.00 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  (Tabelle 4.4, Abb. 4.13).

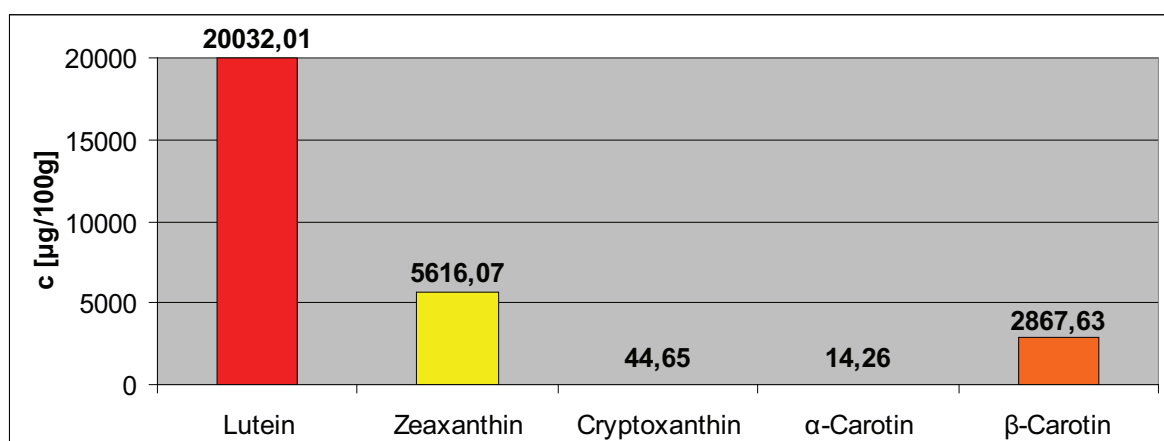


Abbildung 4.13: Carotinoid-Gehalte in Frischen Erbsen

#### 4.2.2.2 In Frischen Zuckerschoten-Erbsen

In den Frischen Zuckerschoten-Erbsen wurde mit  $554.83 \pm 92.18 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  der mittlere Gehalt an Lutein ermittelt, wobei der niedrigste Gehalt bei  $489.65 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  und der höchste bei  $620.01 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  lag. Die durchschnittliche Zeaxanthin-Konzentration betrug  $16.81 \pm 3.82 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ . Die geringste Konzentration wurde mit  $14.11 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  und die höchste Konzentration mit  $19.51 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  detektiert. Der Cryptoxanthin-Gehalt lag im Mittel bei  $12.80 \pm 7.80 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ . Der niedrigste Gehalt wurde mit  $7.28 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  und der höchste mit  $18.31 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  ermittelt. Der Konzentrationsbereich von  $\alpha$ -Carotin lag im Durchschnitt bei  $0.75 \pm 0.01 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ . Die Erbsen der Zuckerschoten enthielten im Mittel  $111.18 \pm 31.74 \mu\text{g}/100 \text{ g}$   $\beta$ -Carotin. Mit  $88.73 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  wurde die niedrigste Konzentration und mit  $133.62 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  die höchste detektiert (Tabelle 4.4, Abb. 4.14).

#### 4.2.2.3 In Tiefkühlerbsen

Die Lutein-Konzentration in Tiefkühlerbsen lag im Mittel bei  $1119.85 \pm 214.83 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ , wobei die geringste Konzentration  $714.13 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  und die höchste  $1510.61 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  betrug. Der Durchschnittswert von Zeaxanthin lag bei  $36.31 \pm 12.53 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ , der niedrigste Wert bei  $24.17 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  und der höchste bei  $64.86 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ . Die Gehalte von Cryptoxanthin reichten von  $5.73 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  bis zu  $33.74 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  und erreichten damit einen Mittelwert von  $14.92 \pm 9.39 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ . Die  $\alpha$ -Carotin Konzentration betrug  $10.49$

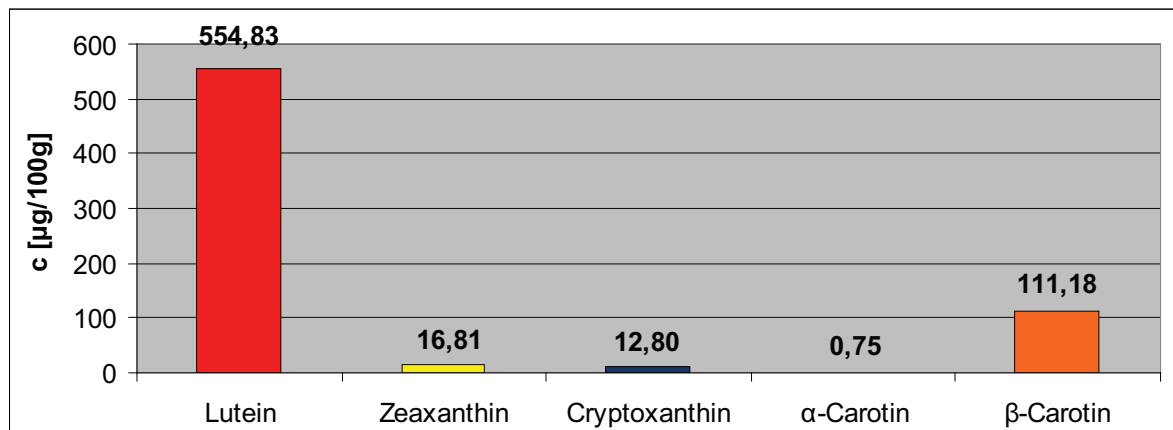


Abbildung 4.14: Carotinoid-Gehalte in Zuckerschoten-Erbсен

$\pm 6.47\mu\text{g}/100\text{ g}$ , wobei die geringste Konzentration mit  $2.98\mu\text{g}/100\text{ g}$  und die höchste mit  $20.54\mu\text{g}/100\text{ g}$  erhoben wurde. Der  $\beta$ -Carotin Gehalt betrug im Durchschnitt  $150.07 \pm 45.95\mu\text{g}/100\text{ g}$ . Die Schwankungsbreite reichte von  $49.24\mu\text{g}/100\text{ g}$  bis  $212.28\mu\text{g}/100\text{ g}$  (Tabelle 4.4, Abb. 4.15).

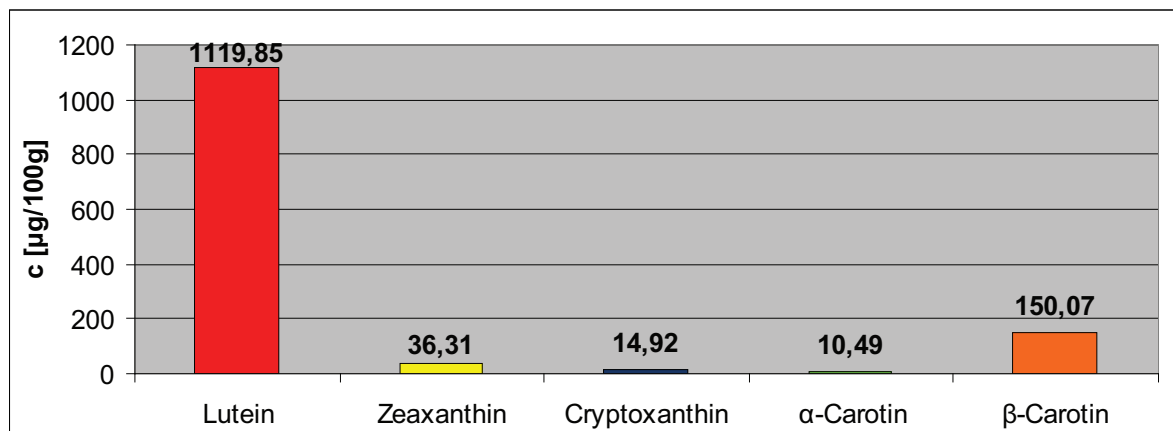


Abbildung 4.15: Carotinoid-Gehalte in Tiefkühlerbсен

#### 4.2.2.4 In Dosenerbсен

Der Lutein-Gehalt betrug durchschnittlich  $625.26 \pm 170.27\mu\text{g}/100\text{ g}$ , mit einer Streubreite von  $409.94\mu\text{g}/100\text{ g}$  bis  $922.51\mu\text{g}/100\text{ g}$ . Die mittlere Zeaxanthin-Konzentration betrug  $108.60 \pm 56.45\mu\text{g}/100\text{ g}$ , mit  $46.72\mu\text{g}/100\text{ g}$  als geringste und  $188.16\mu\text{g}/100\text{ g}$  als höchste Konzentration. Der Gehalt an Cryptoxanthin ergab einen Durchschnitt von  $36.16 \pm 24.26\mu\text{g}/100\text{ g}$ , wobei der niedrigste Gehalt mit  $6.80\mu\text{g}/100\text{ g}$  und der höchste mit  $59.40\mu\text{g}/100\text{ g}$  ermittelt wurde. Der Mittelwert von  $\alpha$ -Carotin lag bei  $3.53 \pm 1.45\mu\text{g}/100\text{ g}$ . Die geringste Konzentration betrug  $0.98\mu\text{g}/100\text{ g}$  und die höchste  $4.84\mu\text{g}/100\text{ g}$ . Der

durchschnittliche  $\beta$ -Carotin Gehalt betrug  $112.83 \pm 43.77 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ . Die Einzelergebnisse streuten zwischen  $58.91 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  und  $180.96 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  (Tabelle 4.4, Abb. 4.16).

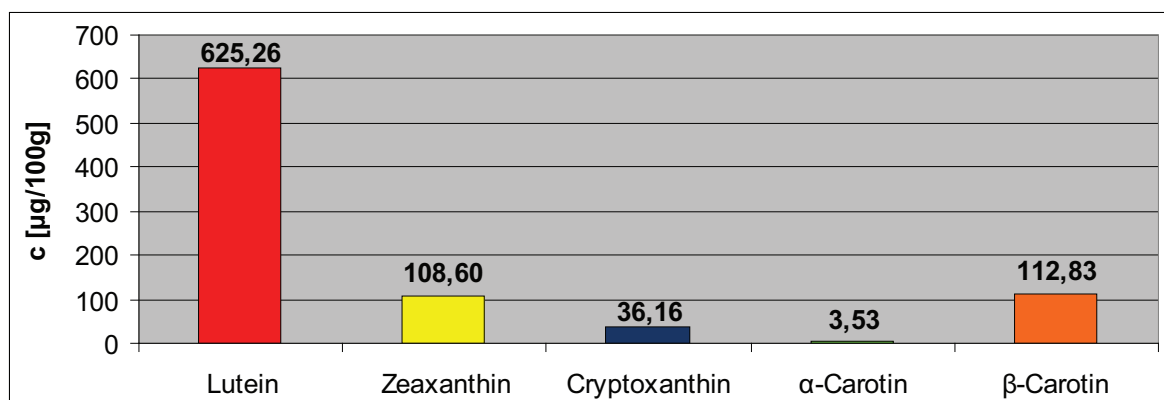


Abbildung 4.16: Carotinoid-Gehalte in Dosenerbsen

#### 4.2.2.5 In Glaserbsen

Die mittlere Konzentration von Lutein wurde mit  $724.17 \pm 280.54 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  ermittelt, wobei die geringste Konzentration bei  $476.38 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  und die höchste bei  $1112.49 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  lag. Der Mittelwert des Zeaxanthin-Gehaltes betrug  $87.09 \pm 33.93 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ . Die Schwankungsbreite reichte von  $48.66 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  bis  $130.38 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ . Die durchschnittliche Cryptoxanthin-Konzentration lag bei  $11.90 \pm 12.00 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ . Als geringste Konzentration wurde  $1.75 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  ermittelt, als höchste  $26.38 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ . Der Gehalt an  $\alpha$ -Carotin betrug im Mittel  $6.08 \pm 1.65 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ , mit  $4.60 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  als geringsten und  $8.43 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  als höchsten Gehalt. Der Durchschnittswert des  $\beta$ -Carotin Gehaltes lag bei  $211.45 \pm 54.10 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ . Der Konzentrationsbereich reichte von  $166.73 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  bis  $289.67 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  (Tabelle 4.4, Abb. 4.17).

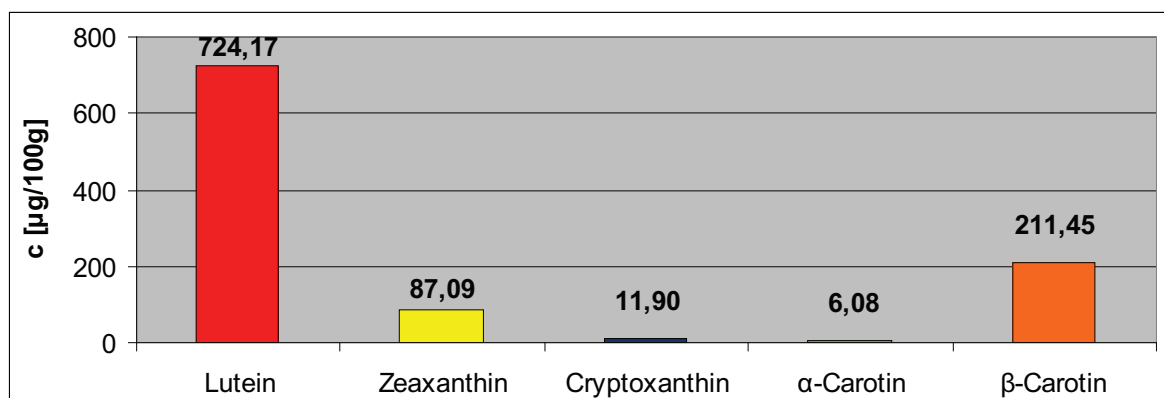


Abbildung 4.17: Carotinoid-Gehalte in Glas-Erbesen

Tabelle 4.4 listet die erfassten Carotinoid-Gehalte (einzelne Carotinoide und Gesamtgehalt) der untersuchten Erbsen für jede Produktgruppe anhand der Mittelwerte (MW), Standardabweichung (sd), sowie Minimal- und Maximalwerte auf.

Tabelle 4.4: *Carotinoid-Gehalte der untersuchten Erbsen*

Parameter		MW $\pm$ sd	Minimum	Maximum
Lutein in $\mu\text{g}/100\text{ g}$	Frisch	20032.01 $\pm$ 687.19	19617.24	20825.24
	ZS	554.83 $\pm$ 92.18	489.65	620.01
	TK	1119.85 $\pm$ 214.83	714.13	1510.61
	Dose	625.26 $\pm$ 170.27	409.94	922.51
	Glas	724.17 $\pm$ 280.54	476.38	1112.49
Zeaxanthin in $\mu\text{g}/100\text{ g}$	Frisch	5616.07 $\pm$ 574.24	4963.85	6045.68
	ZS	16.81 $\pm$ 3.82	14.11	19.51
	TK	36.31 $\pm$ 12.53	24.17	64.86
	Dose	108.60 $\pm$ 56.45	46.72	188.16
	Glas	87.09 $\pm$ 33.93	48.66	130.38
Cryptoxanthin in $\mu\text{g}/100\text{ g}$	Frisch	44.65 $\pm$ 3.80	42.44	49.05
	ZS	12.80 $\pm$ 7.80	7.28	18.31
	TK	14.92 $\pm$ 9.39	5.73	33.74
	Dose	36.16 $\pm$ 24.26	6.80	71.27
	Glas	11.90 $\pm$ 12.00	1.75	26.38
$\alpha$ -Carotin in $\mu\text{g}/100\text{ g}$	Frisch	14.26 $\pm$ 2.01	12.90	16.57
	ZS	0.75 $\pm$ 0.01	0.74	0.75
	TK	10.49 $\pm$ 6.47	2.98	20.54
	Dose	3.53 $\pm$ 1.45	0.98	4.84
	Glas	6.08 $\pm$ 1.65	4.60	8.43
$\beta$ -Carotin in $\mu\text{g}/100\text{ g}$	Frisch	2867.63 $\pm$ 161.43	2771.45	3054.00
	ZS	111.18 $\pm$ 31.74	88.73	133.62
	TK	150.07 $\pm$ 45.95	49.24	212.28
	Dose	112.83 $\pm$ 43.77	58.91	180.96
	Glas	211.45 $\pm$ 54.10	166.73	289.67
Gesamt- Carotinoide- in $\mu\text{g}/100\text{ g}$	Frisch	28574.62 $\pm$ 300.35	28319.03	28905.43
	ZS	696.36 $\pm$ 135.53	600.52	792.19
	TK	1331.63 $\pm$ 254.47	828.12	1754.15
	Dose	886.37 $\pm$ 213.41	669.39	1296.87
	Glas	1040.68 $\pm$ 322.13	777.13	1454.81
<b>Frisch</b> ... Frische Erbsen (A)		<b>ZS</b> ... Zuckerschoten-Erbsen (B,C)		
<b>TK</b> ... Tiefkühlerbsen (D-M)		<b>Dose</b> ... Dosenerbsen (N-U)		
<b>Glas</b> ... Glaserbsen (V-Y)				

### 4.2.3 Carotinoid-Gehalte der Erbsenprodukte im Vergleich

Der Vergleich des Gesamt-Carotinoidgehaltes von Frischen Erbsen ( $28574.62 \pm 300.35 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) zeigte mit ZS-Erbsen ( $696.36 \pm 135.53 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ), Tiefkühlerbsen ( $1331.63 \pm 254.47 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ), Dosenerbsen ( $886.37 \pm 213.41 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) und Glaserbsen ( $1040.68 \pm 322.13 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) signifikante Unterschiede ( $p < 0.05$ ). Ein hoch signifikanter Unterschied ( $p < 0.01$ ) im Gesamt-Carotinoidgehalt konnte sowohl zwischen ZS-Erbsen und Tiefkühlerbsen als auch zwischen Tiefkühlerbsen und Dosenerbsen festgestellt werden.

Die Lutein-Konzentration in Frischen Erbsen ( $20032.01 \pm 687.19 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) zeigte im Vergleich mit ZS-Erbsen ( $554.83 \pm 92.18 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ), Tiefkühlerbsen ( $1119.85 \pm 214.83 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ), Dosenerbsen ( $625.26 \pm 170.27 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) und Glaserbsen ( $724.17 \pm 280.54 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) signifikante Unterschiede ( $p < 0.05$ ). Eine hoch signifikante Differenz ( $p < 0.01$ ) wurde zwischen den ZS-Erbsen und den Tiefkühlerbsen ermittelt. Der Gehalt an Lutein der Tiefkühlerbsen unterschied sich signifikant im Vergleich mit den Dosenerbsen ( $p < 0.001$ ) und den Glaserbsen ( $p < 0.05$ ).

Die Zeaxanthin-Konzentration der Frischen Erbsen ( $5616.07 \pm 574.24 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) zeigte signifikante Unterschiede ( $p < 0.05$ ) im Vergleich mit den ZS-Erbsen ( $16.81 \pm 3.82 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ), den Tiefkühlerbsen ( $36.31 \pm 12.53 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ), den Dosenerbsen ( $108.60 \pm 56.45 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) und den Glaserbsen ( $87.09 \pm 33.93 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ). Der Zeaxanthin-Gehalt der ZS-Erbsen unterschied sich signifikant im Vergleich zu den Tiefkühlerbsen und den Dosenerbsen ( $p < 0.01$ ), sowie im Vergleich zu den Glaserbsen ( $p < 0.05$ ). Ein signifikanter Unterschied konnte zwischen den Tiefkühlerbsen und den Dosenerbsen ( $p < 0.001$ ) sowie zwischen den Tiefkühlerbsen und den Glaserbsen ( $p < 0.01$ ) eruiert werden.

Die Cryptoxanthin-Konzentration in den Frischen Erbsen ( $44.65 \pm 3.80 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) zeigte signifikante Unterschiede ( $p < 0.001$ ) im Vergleich mit den ZS-Erbsen ( $12.80 \pm 7.80 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) und den Tiefkühlerbsen ( $14.92 \pm 9.39 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) sowie zwischen den Frischen Erbsen und den Glaserbsen ( $11.90 \pm 12.00 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) ( $p < 0.01$ ). ZS-Erbsen unterschieden sich signifikant im Vergleich zu den Dosenerbsen ( $36.16 \pm 24.26 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) ( $p < 0.05$ ). Eine signifikante Differenz ( $p < 0.05$ ) konnte zwischen Tiefkühlerbsen und Dosenerbsen sowie zwischen Dosenerbsen und Glaserbsen ermittelt werden.

Die  $\alpha$ -Carotin Konzentration der Frischen Erbsen ( $14.26 \pm 2.01 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) unterschied sich signifikant im Vergleich mit den ZS-Erbsen ( $0.75 \pm 0.01 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) und den Glaserbsen ( $6.08 \pm 1.65 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) ( $p < 0.01$ ) sowie im Vergleich mit den Dosenerbsen ( $3.53 \pm 1.45 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) ( $p < 0.001$ ). Die ZS-Erbsen zeigten im Vergleich mit den Tiefkühlerbsen ( $10.49 \pm 6.47 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ), Dosenerbsen und Glaserbsen höchst signifikante Differenzen ( $p < 0.001$ ). Tiefkühlerbsen wiesen im Vergleich mit Dosenerbsen eine hoch signifikante Differenz ( $p < 0.01$ ) auf. Ein signifikanter Unterschied ( $p < 0.05$ ) in Bezug auf den  $\alpha$ -Carotin Gehalt wurde auch zwischen Dosenerbsen und Glaserbsen festgestellt.

Der Test auf Signifikanz in Bezug auf die  $\beta$ -Carotin Konzentration ermittelte signifikante Unterschiede ( $p < 0.05$ ) zwischen Frischen Erbsen ( $2867.63 \pm 161.43 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) und ZS-Erbsen ( $111.18 \pm 31.74 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ), Tiefkühlerbsen ( $150.07 \pm 45.95 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ), Dosenerbsen ( $112.83 \pm 43.77 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) sowie Glaserbsen ( $211.45 \pm 54.10 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ). Weitere signifikante Differenzen ( $p < 0.05$ ) konnten zwischen Tiefkühlerbsen und Glaserbsen sowie zwischen Dosenerbsen und Glaserbsen festgestellt werden (Tabelle 4.5).

Tabelle 4.5: *Signifikante Unterschiede der Carotinoid-Konzentrationen*

Produkt gruppe	Gesamt Carotinoide	Lutein	Zea xanthin	Crypto xanthin	$\alpha$ Carotin	$\beta$ Carotin
Frisch/ZS	*	*	*	***	**	*
Frisch/TK	*	*	*	***	—	*
Frisch/Dose	*	*	*	—	***	*
Frisch/Glas	*	*	*	**	**	*
ZS/Frisch	*	*	*	***	**	*
ZS/TK	**	**	**	—	***	—
ZS/Dose	—	—	**	*	***	—
ZS/Glas	—	—	*	—	***	*
TK/Frisch	*	*	*	***	—	*
TK/ZS	**	**	**	—	***	—
TK/Dose	**	***	***	*	**	—
TK/Glas	—	*	**	—	—	*
Dose/Frisch	*	*	*	—	***	*
Dose/ZS	—	—	**	*	***	—
Dose/TK	**	***	***	*	**	—
Dose/Glas	—	—	—	*	*	*
Glas/Frisch	*	*	*	**	**	*
Glas/ZS	—	—	*	—	***	*
Glas/TK	—	*	**	—	—	*
Glas/Dose	—	—	—	*	*	*

\* ... signifikant ( $p < 0.05$ )  
 \*\* ... hoch signifikant ( $p < 0.01$ )  
 \*\*\* ... höchst signifikant ( $p < 0.001$ )  
 — ... nicht signifikant

#### 4.2.4 Diskussion der Carotinoid-Ergebnisse

Die Carotinoidgehalte für die fünf untersuchten Erbsenprodukte zeigten beim Vergleich mit den Literaturdaten eine große Schwankungsbreite (Tabelle 4.6).

Die verschiedenen Carotinoidgehalte lassen sich auf unterschiedliche Analysemethoden zurückführen. Bei den Unterschieden der Lutein- und Zeaxanthin-Gehalte muss darauf hingewiesen werden, dass diese beiden Carotinoide mit der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Methode getrennt bestimmt wurden. Nachdem die früher angewandten Methoden die beiden Hydroxycarotinoide Lutein und Zeaxanthin nicht trennen konnten, sind bei manchen Autoren (z.B. Mangels et al. [1993b]; USDA [2009]; Heinonen et al. [1989]; Holden et al. [1999]) Lutein und Zeaxanthin zusammen angegeben.



Tabelle 4.6: Vergleich der erhaltenen Carotinoidgehalte mit den Literaturdaten ( $\mu\text{g}/100\text{ g}$  essbarer Anteil)

	Lutein	Zea- xanthin	Crypto- xanthin	$\alpha$ - Carotin	$\beta$ - Carotin
<b>FrISCHE Erbsen</b>					
Eigene Daten	20032	5616	45	14	2868
Holden et al. [1999]	–	–	–	19	485
Mangels et al. [1993b]	1400 <sup>1</sup>	–	–	26	1300
Souci et al. [2008]	–	–	Spuren	19	422
USDA [2009]	–	–	15	21	449
<b>ZS-Erbsen</b>					
Eigene Daten	555	17	13	0.75	111
USDA [2009]	740 <sup>1</sup>	–	–	44	630
<b>Tiefkühlerbsen</b>					
Eigene Daten	1120	36	15	10	150
Holden et al. [1999]	–	–	–	33	320
Hart und Scott [1995]	1633	–	–	–	360
Heinonen et al. [1989]	1700 <sup>1</sup>	–	9	Spuren	360
USDA [2009]	2352 <sup>1</sup>	–	–	20	1225
<b>Dosenerbsen</b>					
Eigene Daten	625	109	36	4	113
[Holden et al., 1999]	1350 <sup>1</sup>	–	–	–	320
[Souci et al., 2008]	–	–	–	–	260
USDA [2009]	1350 <sup>1</sup>	–	–	9	514
<b>Glaserbsen</b>					
Eigene Daten	724	87	12	6	211
<sup>1</sup> Lutein + Zeaxanthin					

Der ermittelte Luteingehalt ( $20032.01 \pm 687.19\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) in Friscen Erbsen war dennoch um 97% höher als im Vergleich zu dem von Mangels et al. [1993b] gemessenen Gehalten ( $1400\mu\text{g}/100\text{ g}$ ). Der Gehalt an Cryptoxanthin in Friscen Erbsen wurde in vorliegender Arbeit mit  $44.65 \pm 3.80\mu\text{g}/100\text{ g}$  detektiert und war im Vergleich zu dem in USDA [2009] angeführten Gehalt ( $15\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) um 77% höher. Bei Souci et al. [2008] wurden lediglich Spuren von Cryptoxanthin angegeben. Der in vorliegender Arbeit festgestellte  $\alpha$ -Carotin Wert ( $14.26 \pm 2.01\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) näherte sich den Ergebnissen von Holden et al. [1999] und Souci et al. [2008] ( $19\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) an. Die in USDA [2009] und bei Mangels et al. [1993b] angegebenen  $\alpha$ -Carotin Gehalte ( $21 \pm 5.140\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) bzw.

( $26\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) waren im Vergleich zu den eigenen Daten um 33% bzw. 46% größer. Der festgestellte  $\beta$ -Carotin Gehalt in Frischen Erbsen ( $2867.63 \pm 161.43\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) war im Vergleich zu den Daten von Mangels et al. [1993b] ( $1300\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) um 55% höher und im Vergleich zu den Daten von Holden et al. [1999], USDA [2009] und Souci et al. [2008] ( $485\mu\text{g}/100\text{ g}$ ,  $449 \pm 108.53\mu\text{g}/100\text{ g}$ ,  $422\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) um 83%, 84% bzw. 85% höher.

Der in vorliegender Arbeit ermittelte Lutein-Gehalt ( $554.83 \pm 92.18\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) und Zeaxanthin-Gehalt ( $16.81 \pm 3.82\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) in Frishen ZS-Erbsen war nach Addition der Werte, im Vergleich zu dem von USDA [2009] angegebenen Gehalt der beiden Carotinoide ( $740\mu\text{g}/100\text{ g}$ ), um 33% kleiner. Der  $\alpha$ -Carotin Gehalt, der in USDA [2009] ( $44\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) angeführt ist, war um 98% größer im Vergleich zu den eigenen Daten ( $0.75 \pm 0.01\mu\text{g}/100\text{ g}$ ). Ebenso ist der in USDA [2009] angegebene  $\beta$ -Carotin Gehalt ( $630\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) im Vergleich zu dem in vorliegender Arbeit detektierten Gehalt ( $111.18 \pm 31.74\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) um 82% größer.

Der direkte Vergleich der Luteingehalte in Tiefkühlererbsen zeigte, dass der von Hart und Scott [1995] gemessene Gehalt ( $1633\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) um 32% größer war als der in vorliegender Arbeit ( $1119.85 \pm 214.83\mu\text{g}/100\text{ g}$ ). Der Luteingehalt der eigenen Untersuchung war auch um 34% bzw. 52% kleiner im Vergleich mit den Daten von Heinonen et al. [1989] und USDA [2009] bestimmten Gehalt ( $1700\mu\text{g}/100\text{ g}$  bzw.  $2352\mu\text{g}/100\text{ g}$ ), die jedoch Lutein und Zeaxanthin umfassten. Der in vorliegender Arbeit detektierte Cryptoxanthingehalt ( $14.92 \pm 9.39\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) war um 40% größer als der von Heinonen et al. [1989] gemessene Gehalt ( $9\mu\text{g}/100\text{ g}$ ). Die Unterschiede im  $\alpha$ -Carotin Gehalt zwischen den eigenen Daten ( $10.49 \pm 6.47\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) und denen von USDA [2009] und Holden et al. [1999] ( $20\mu\text{g}/100\text{ g}$  bzw.  $33\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) betrugen 50% bzw. 70%. Ein Unterschied von 92% zwischen den  $\beta$ -Carotin Gehalten zeigte sich zwischen den Daten von USDA [2009] ( $1225\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) und den eigenen Daten ( $150.07 \pm 45.95\mu\text{g}/100\text{ g}$ ). Im Vergleich zu den Werten von Holden et al. [1999] ( $320\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) sowie von Hart und Scott [1995] und Heinonen et al. [1989] ( $360\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) waren die  $\beta$ -Carotin Gehalte der vorliegenden Arbeit um 53% und 58% kleiner. Edelenbos et al. [2001] untersuchte sechs verschiedene Sorten von grünen Erbsen auf ihren Gehalt an Chlorophyll und Carotinoiden. Die Erbsen wurden nach der Ernte blanchiert, tiefgefroren, aufgetaut und anschließend analysiert. Es wurden je nach Sorte unterschiedliche Gehalte an Lutein ermittelt, die im Konzentrationsbereich von 1200 bis  $1900\mu\text{g}/100\text{ g}$  lagen. Die Schwankungsbreite der  $\beta$ -Carotin Gehalte lag zwischen 300 und  $490\mu\text{g}/100\text{ g}$ . Im Vergleich zu den in vorliegender Arbeit detektierten Lutein und  $\beta$ -Carotin Gehalten waren die von Edelenbos et al. [2001] um 7–41% bzw. um 50–69% größer.

Fasst man den in der vorliegenden Arbeit in Dosenerbsen detektierten Luteingehalt ( $625.26 \pm 170.27\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) und Zeaxanthingehalt ( $108.60 \pm 56.45\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) zusammen, so zeigt sich zu dem von Holden et al. [1999] und USDA [2009] angeführten Lutein- und Zeaxanthingehalt ( $1350\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) ein Unterschied von 46%. Der  $\alpha$ -Carotin Gehalt der eigenen Untersuchung ( $3.53 \pm 1.45\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) war im Vergleich zu dem in USDA [2009] angegebenen Gehalt ( $9\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) um 66% kleiner. Vergleicht man den in vorliegender Arbeit festgestellten  $\beta$ -Carotin Gehalt ( $112.83 \pm 43.77\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) mit den Werten von USDA [2009], Holden et al. [1999] und Souci et al. [2008] ( $514 \pm 39.13\mu\text{g}/100\text{ g}$ ,  $320\mu\text{g}/100\text{ g}$  und  $260\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) so zeigen sich Unterschiede von 88%, 65% und 37%.

Unterschiedliche Carotinoidgehalte sind neben den erwähnten verschiedenen Analysemethoden auch auf innere Faktoren wie Art, Reifegrad, pH-Wert und Lebensmittelmatrix zurückzuführen. Weiters spielen auch Faktoren wie Anbauform, Wachstumsbedingungen, Ernte, saisonale Schwankungen, Nachernte- und Lagerungsbedingungen, verwendeter Pflanzenteil und Qualität des Rohmaterials eine wesentliche Rolle [Hart und Scott, 1995; Rodriguez-Amaya und de Sá Marcela, 2003; Anjum et al., 2008].

Allgemein betrachtet lässt sich sagen, dass die Carotinoid-Konzentrationen in den konservierten Erbsenprodukten aufgrund der industriellen Bearbeitung und thermischen Behandlung deutlich geringer ausgefallen sind, als im Vergleich zu den Frischen Erbsen. Die geringeren Carotinoid-Gehalte der ZS-Erbsen im Vergleich mit den Frischen Erbsen können mit dem Umstand begründet werden, dass sie sortenbedingt um einiges kleiner sind als andere Erbsen und auch dadurch, dass die Samen in den Hülsen noch unentwickelt und somit in unreifem Zustand untersucht wurden. Die Erbsen aus Zuckerschotenerbsen werden üblicherweise mit den Hülsen zubereitet und verzehrt. Der Reifungsprozess wird im allgemeinen mit einer vermehrten Carotinoidsynthese begleitet, bei der die Carotinoide in der Menge merklich zunehmen [Rodriguez-Amaya et al., 2008].

Gemeinsam mit  $\beta$ -Carotin ist Lutein eines der meist verbreiteten Carotinoide in häufig verzehrten Früchten und Gemüse. In pflanzlichen Geweben kommt Lutein (ein Dihydroxy-Derivat von  $\alpha$ -Carotin) in beträchtlich größerer Menge vor als dessen Strukturisomer Zeaxanthin (ein Dihydroxy-Derivate von  $\beta$ -Carotin) [Rodriguez-Amaya et al., 2008; Granado et al., 2003]. Von den zwei in vorliegender Arbeit detektierten Xanthophyllen war Lutein in allen Erbsenprodukten vorherrschend, besonders in den Frischen Erbsen. Auch die Analyse von Hart und Scott [1995] zeigte, dass grüne Erbsen eine gute Quelle ( $>1000 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) für Lutein darstellen. Während Lutein ein Hauptcarotinoid in den meisten Früchten und Gemüsen darstellt, sind die Nahrungsmittelquellen für Zeaxanthin auf einige bestimmte gelb/orange-farbige Früchte und Gemüse wie Mais, Nektarine, Orange und Papaya limitiert [Bernstein et al., 2001].

Umwandlungen oder Verluste von Carotinoiden während der Bearbeitung und Lagerung von Lebensmitteln erfolgen aufgrund von physikalischer Entfernung (z.B. durch Schälen), geometrische Isomerisation und enzymatische oder nicht-enzymatische Oxidation [Rodriguez-Amaya et al., 2008]. Die Isomerisation der all-trans-Carotinoide, der natürlich vorliegenden Konfiguration, in cis-Isomere wird durch Hitze, Licht und durch den Kontakt mit Säuren gefördert und resultiert in einem Verlust der Provitamin A Aktivität und einer veränderten Bioverfügbarkeit sowie einem geänderten Stoffwechsel. Die Isomerisierung tritt in größerem Ausmaß während einer thermischen Bearbeitung auf, da bei dieser die trans Doppelbindungen für eine Umlagerung in eine cis-Stellung anfälliger sind. So hat z.B. Lutein, als ein asymmetrisches Carotinoid, mehr cis-Isomere (13-cis Lutein, 13'-cis Lutein, 9-cis Lutein, 9'-cis Lutein) als Zeaxanthin, ein symmetrisches Carotinoid, (13-cis Zeaxanthin, 9-cis Zeaxanthin).

Schwartz [1996] untersuchte die Auswirkungen einer thermischen Behandlung auf die Isomerisation von Lutein und Zeaxanthin und stellte fest, dass die all-trans-Isomere in bearbeiteten Produkten niedriger waren im Vergleich zu frischer Ware. Die Änderung der isomerischen Zusammensetzung resultierte in einer Zunahme von allen cis-Lutein-Isomeren und betrug in Dosen-Kohl 22%, in Mais 12%, in Spinat 11% und in grünen

Erbsen 6%, wobei die cis-Isomere von Zeaxanthin in Mais um 17% zunahmen. Es zeigte sich, dass der Gehalt an cis-Isomeren in verarbeiteten Erzeugnissen signifikant größer war im Vergleich zu den frischen Produkten. Das vorherrschende cis-Isomer von Lutein in bearbeiteten Gemüsesorten war das 13-cis Lutein, gefolgt von kleineren Mengen an 9-cis Lutein und 9'-cis Lutein. Diese cis-Isomere wurden auch in frischem Gemüse detektiert, was vermuten lässt, dass sie wahrscheinlich aus Chlorophyll-Derivaten entstanden sind. Diese haben als Sensibilisator agiert und eine Isomerisation der all-trans-Carotinoide in ihre entsprechenden cis-Formen induziert [Schwartz, 1996]. Ebenso ermittelten Edelembos et al. [2001], dass das 13-cis Isomer von Lutein häufiger in verarbeiteten grünen Erbsen vorkommt als das 9-cis Isomer. Es wurde beobachtet, dass Lutein bei Hitze einwirkung weniger leicht abgebaut wird als Zeaxanthin. Aus diesem Grund sind die Zunahmen an Gesamt-Lutein in verarbeitetem Gemüse höchstwahrscheinlich durch folgende Punkte zu erklären: Verlust von löslichen Stoffen in die Aufgussflüssigkeit, Inaktivierung von Carotinoid-oxidierenden Enzymen und/oder größere Wirksamkeit der Extraktion aufgrund der Zerstörung der Carotinoid-Protein-Komplexe [Schwartz, 1996].

Der Gehalt und die Struktur von Carotinoiden in Nahrungsmitteln werden während der Nachernte-Lagerung, der Bearbeitung und auch während der anschließenden Aufbewahrung verändert. Insbesondere thermische Prozesse wie Blanchieren, Pasteurisieren, Kochen und Sterilisieren, können zu einer Abnahme des Carotinoidgehaltes führen. Gleichzeitig kann dies aber auch zur Denaturierung von Proteinen, zum Erweichen der Cellulosestruktur und zu einer günstigen Aufspaltung der Lebensmittelmatrix (z.B. Zellwände und Membranen) führen, wodurch es zu einer erleichterten Freisetzung und Löslichkeit der Carotinoide kommen kann. Da die Carotinoide in Pflanzen kristallin vorliegen und von einer unverdaulichen Cellulosematrix umschlossen sind, hängt die Freisetzung auch von der intrazellulären Lage und von der Hydrophilität der Carotinoide ab. Je hydrophiler sie sind und je weiter sie sich auf der Außenseite befinden, desto leichter können sie freigesetzt werden. Das am wenigsten hydrophile und am stärksten von einer Cellulosematrix umschlossene Carotinoid ist  $\beta$ -Carotin. Um  $\beta$ -Carotin freizusetzen müssen höhere Temperaturen oder eine stärkere mechanische Belastung eingesetzt werden. Da Lutein etwas hydrophiler als  $\beta$ -Carotin ist, erfolgt die Freisetzung bereits bei milden Temperaturen oder einer geringen mechanischen Zerkleinerung. Somit kann sich die Bioverfügbarkeit einzelner Carotinoide im Rahmen der Verarbeitungsprozesse erhöhen [Maiani et al., 2009; Heiss und Eichner, 1995; van het Hof et al., 2000; Bässler et al., 2002; Siekmann, 2003]. Dies wurde besonders bei Lutein und  $\beta$ -Carotin in grünem Gemüse, Erbsen und Bohnen festgestellt, deren Gehalt durch Kochen um durchschnittlich 24% für Lutein und 38% für  $\beta$ -Carotin gestiegen ist [Hart und Scott, 1995].

$\beta$ -Carotin kommt in Lebensmitteln überwiegend in der all-trans-Konfiguration vor, allerdings wurde berichtet, dass cis-Isomere von Natur aus in Chlorophyll-haltigen Geweben vorkommen. Im Rahmen von Verarbeitungsprozessen kann zwar die Bioverfügbarkeit von  $\beta$ -Carotin erhöht werden, jedoch führen längere thermische Behandlungen zu Aktivitätsverlusten. Schieber und Carle [2005] untersuchten die Auswirkungen einer thermischen Behandlung auf die trans-cis-Isomerisierung von Karottensaft, der neben Karotten einer der wichtigsten Nahrungsmittelquellen von  $\beta$ -Carotin darstellt. Die Ergebnisse zeigten, dass Pasteurisation bei 100°C und Sterilisation bei 121°C nur geringe

Mengen an cis-Isomeren verursachten. Im Gegensatz dazu resultierte exzessives Blanchieren von Karotten und Sterilisation von Karottensaft bei 130°C in einem höheren Ausmaß an cis-Isomeren [Schieber und Carle, 2005].

Da Carotinoide fettlöslich sind, werden sie weniger durch Verarbeitungsschritte wie Waschen, Blanchieren und Kochen beeinflusst im Vergleich zu wasserlöslichen Inhaltstoffen, die während der Bearbeitung ausgelaugt werden und im Falle der Hitzesterilisation in die Aufgussflüssigkeit übergehen können. Jedoch sind Carotinoide empfindlich gegenüber Oxidation, dessen Ausmaß von Temperatur, Licht, pH-Wert und dem verfügbaren Sauerstoff abhängen. Gerade während der Zubereitung und Lagerung kommt es infolge der längerfristigen Einwirkung von Hitze und Licht in Gegenwart von Sauerstoff zu Isomerisierungs- und enzymatischen oder nicht-enzymatischen Oxidationsvorgängen, die zu anderen Abbauprodukten und damit zu Carotinoid-Verlusten führen. Als Konsequenzen sind Verluste von Farbe und biologischer Aktivität zu nennen, sowie die Bildung flüchtiger Verbindungen, die erwünschte oder unerwünschte Aromen in einigen Lebensmitteln verursachen. Die deutlich geringeren Werte für gekochte oder verarbeitete Produkte im Vergleich zur Rohware weisen auf das Auftreten dieser Veränderungen/Verluste hin. Nennenswerte Ausnahmen sind Tomatenprodukte, die deutlich höhere Carotinoidkonzentrationen aufweisen als frische Tomaten [Bruhn et al., 2007b; Bässler et al., 2002; Stahl und Sies, 2005; Rodriguez-Amaya et al., 2008].

Die Konzentrationen der einzelnen Carotinoide können durch verschiedene Kochprozesse (Blanchieren, Pasteurisieren, Kochen, Sterilisieren, Braten) entweder verringert oder erhöht werden oder aber auch unverändert bleiben. Zusätzlich kann die Art des Kochens das Profil des Carotinoidgehalts im Zusammenhang mit der Lebensmittelmatrix und der Stabilität gezielter Carotinoide im Lebensmittel verändern [Maiani et al., 2009].

Als besonders hitzeempfindlich haben sich die sauerstoffhaltigen Xanthophylle wie Lutein und Zeaxanthin erwiesen, während die sauerstofffreien Carotinoide wie  $\alpha$ - und  $\beta$ -Carotin sowie Lycopin weniger hitzelabil sind [Watzl und Leitzmann, 1995].

Eine milde Hitzebehandlung (Blanchieren, Pasteurisieren) für eine kurze Zeitspanne führt zu geringen Veränderungen bzw. Aktivitätsverlusten im Nahrungsmittel. Hingegen kommt es bei längerer Hitzeeinwirkung oder Hitzesterilisation zu Ab- bzw. Zunahmen, abhängig von der Carotinoidart und dem Lebensmittel. Die Isomerisation der all-trans-Carotinoide in cis-Isomere wird durch Hitze, Licht und durch den Kontakt mit Säuren gefördert. Die Freisetzung organischer Säuren während dem Schneiden oder Entsaften von Früchten kann eine trans-cis-Isomerisierung auslösen, deren Ausmaß direkt mit dem Ausmaß der thermischen Behandlung korreliert.  $\beta$ -Carotin weist die höchste Isomerisierungs-Sensibilisierung auf. Lycopin ist zwar weniger empfindlich, jedoch hat sich gezeigt, dass die cis-Form besser bioverfügbar ist.

Die größten Carotinoidverluste sind jedoch auf enzymatische oder nicht-enzymatische Oxidation zurückzuführen, abhängig von der Verfügbarkeit von Sauerstoff und der Carotinoidstruktur. Oxidationsfördernde Faktoren sind neben Licht und Hitze auch Metalle, Enzyme und Peroxide. Im Gegensatz dazu verhindern Antioxidantien diese Abbauprozesse. Enzymatische Oxidationsvorgänge erfolgen noch vor der Hitzebehandlung während dem Schälen, Schneiden, Zerdrücken und Entsaften und können auch bei unblanchierten

tiefgefrorenen Lebensmitteln vorkommen. Nicht-enzymatische Oxidationen laufen in gekochten und verarbeiteten Lebensmitteln ab, deren geringere Carotinoidgehalte darauf hinweisen [Rodriguez-Amaya et al., 2008; Bruhn et al., 2007b; Maiani et al., 2009; Kalt, 2005; Siekmann, 2003].

Die Geschwindigkeit der Abbauvorgänge hängt von der Lagerungstemperatur, der Beschaffenheit des Lebensmittels, der Luftfeuchtigkeit, dem Sauerstoffgehalt und von der Verpackungsart ab [Becker, 1996; Bognár, 1995; Hart und Scott, 1995; Nicoli et al., 1997].

Gewöhnlich weisen Tiefgefrorene Produkte im Vergleich zu Dosenprodukten leicht höhere  $\beta$ -Carotin Konzentrationen auf [Bruhn et al., 2007b]. Dies zeigt sich auch in den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit. Je nach Lagerungstemperatur und -zeit belaufen sich die  $\beta$ -Carotin Verluste beim Tiefgefrieren auf ca. 20–30%. Bei hitzesterilisierten Gemüseprodukten wurden  $\beta$ -Carotin Verluste von bis zu 20% in grünem Gemüse und bis zu 35% in gelbem Gemüse festgestellt [Siekmann, 2003].

## 4.3 Totale antioxidative Kapazität

### 4.3.1 In Frischen Erbsen

In Frischen Erbsen lag der TAC-Wert für die wasserlösliche Phase im Mittel bei  $0.93 \pm 0.10$  mMol Trolox-Ä/l, wobei der niedrigste Wert 0.82 mMol Trolox-Ä/l und der höchste 1.02 mMol Trolox-Ä/l betrug. Die mittlere TAC-Konzentration für die wasserunlösliche Phase betrug  $0.04 \pm 0.03$  mMol Trolox-Ä/l, mit der Schwankungsbreite von 0.02 bis 0.07 mMol Trolox-Ä/l (Tabelle 4.7, Abb. 4.18).

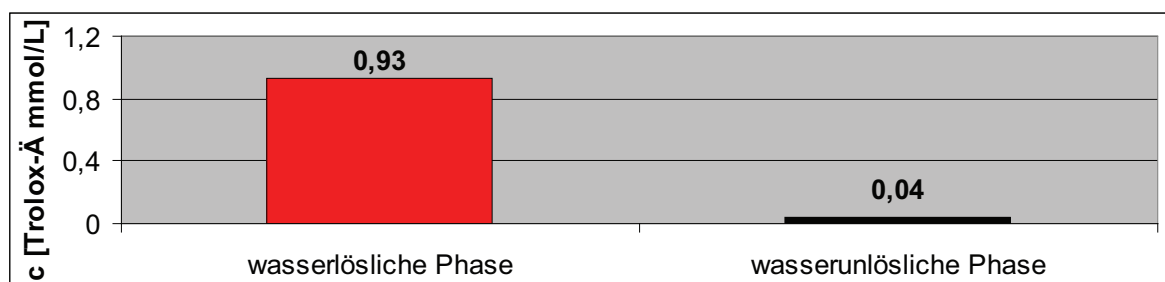


Abbildung 4.18: TAC-Werte in Frischen Erbsen

### 4.3.2 In Frischen Zuckerschoten-Erbsen

Der TAC-Wert der ZS-Erbsen für die wasserlösliche Phase betrug durchschnittlich  $1.71 \pm 0.24$  mMol Trolox-Ä/l, wobei der niedrigste Wert 1.52 und der höchste 1.98 mMol Trolox-Ä/l betrug. Die wasserunlösliche Phase betrug im Mittel  $0.11 \pm 0.04$  mMol Trolox-Ä/l mit einer Streubreite von 0.06 bis 0.18 mMol Trolox-Ä/l (Tabelle 4.7, Abb. 4.19).

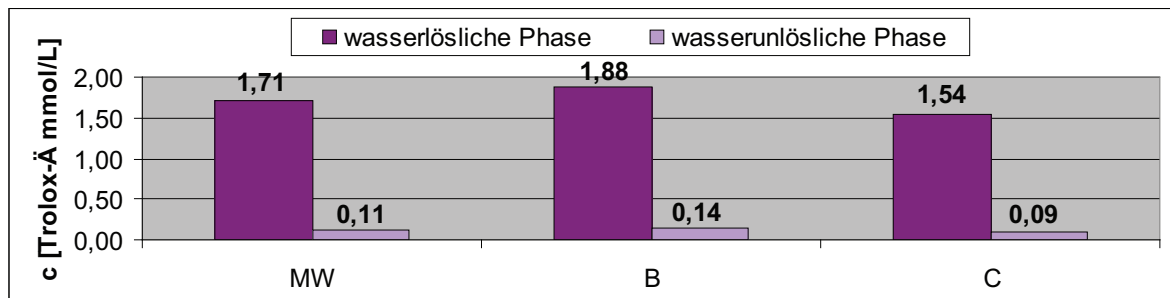


Abbildung 4.19: TAC-Werte in Friscen Zuckerschoten-Erbesen. MW sind die Mittelwerte von B und C

### 4.3.3 In Tiefkühlerbsen

Die TAC-Werte für die wasserlösliche Phase in Tiefkühlerbsen lagen im Durchschnitt bei  $1.59 \pm 0.24$  mMol Trolox-Ä/l, wobei der niedrigste Wert 1.23 mMol Trolox-Ä/l und der höchste 1.96 mMol Trolox-Ä/l betrug. Die TAC-Werte der wasserunlöslichen Phase lagen im Mittel bei  $0.24 \pm 0.10$  mMol Trolox-Ä/l, wobei der niedrigste Wert mit 0.11 mMol Trolox-Ä/l und der höchste mit 0.45 mMol Trolox-Ä/l erfasst wurde (Tabelle 4.7, Abb. 4.20).

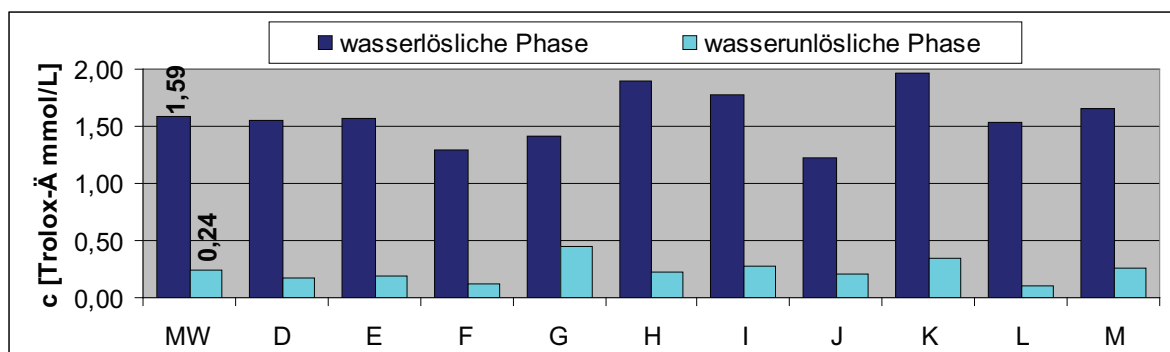


Abbildung 4.20: TAC-Werte in Tiefkühlerbsen. MW sind die Mittelwerte von D bis M

### 4.3.4 In Dosenerbsen

In Dosenerbsen (ohne Saft) betrug die mittlere TAC-Konzentration der wasserlöslichen Phase  $0.76 \pm 0.26$  mMol Trolox-Ä/l. Der geringste Wert lag bei 0.30 mMol Trolox-Ä/l und der höchste bei 1.07 mMol Trolox-Ä/l. Die TAC-Werte für die wasserunlösliche Phase ergaben eine durchschnittliche Konzentration von  $0.23 \pm 0.14$  mMol Trolox-Ä/l. Als geringste Konzentration wurde 0.06 mMol Trolox-Ä/l und als höchste 0.48 mMol Trolox-Ä/l ermittelt.

In Dosenerbsen (mit Saft) betrug der Mittelwert der TAC-Werte für die wasserlösliche Phase  $1.46 \pm 0.57$  mMol Trolox-Ä/l, wobei die Schwankungen zwischen 0.54

mMol Trolox-Ä/l und 2.17 mMol Trolox-Ä/l lagen. Die TAC-Werte der wasserunlöslichen Phase ergaben einen Mittelwert von  $0.40 \pm 0.17$  mMol Trolox-Ä/l. Die niedrigste Konzentration lag bei 0.18 mMol Trolox-Ä/l und die höchste bei 0.65 mMol Trolox-Ä/l (Tabelle 4.7, Abb. 4.21).

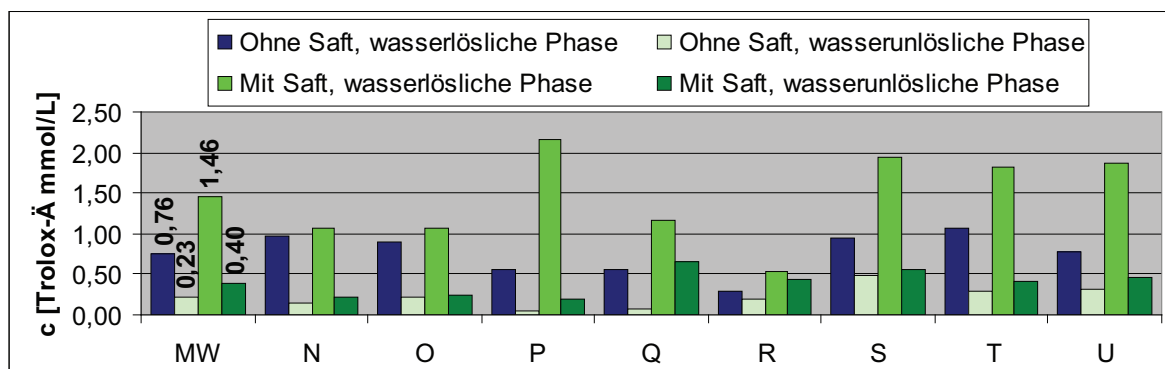


Abbildung 4.21: TAC-Werte in Dosenerbsen. MW sind die Mittelwerte von N bis U

### 4.3.5 In Glaserbsen

Der durchschnittliche TAC-Wert für die wasserlösliche Phase in Glaserbsen (ohne Saft) wurde mit  $0.99 \pm 0.31$  mMol Trolox-Ä/l erfasst. Die Schwankungsbreite reichte von 0.57 bis 1.33 mMol Trolox-Ä/l. Für die wasserunlösliche Phase wurden im Mittel TAC-Werte von  $0.49 \pm 0.26$  mMol Trolox-Ä/l ermittelt. Die geringste Konzentration lag bei 0.11 mMol Trolox-Ä/l und die höchste bei 0.69 mMol Trolox-Ä/l.

In Glaserbsen (mit Saft) betrug der TAC-Wert der wasserlöslichen Phase im Durchschnitt  $1.76 \pm 0.34$  mMol Trolox-Ä/l, wobei der niedrigste Wert 1.54 mMol Trolox-Ä/l und der höchste 2.27 mMol Trolox-Ä/l betrug. Die Streubreite der TAC-Werte der wasserunlöslichen Phase bewegte sich zwischen 0.18 mMol und 0.65 mMol Trolox-Ä/l. Der Mittelwert lag bei  $0.39 \pm 0.21$  mMol Trolox-Ä/l (Tabelle 4.7, Abb. 4.22).

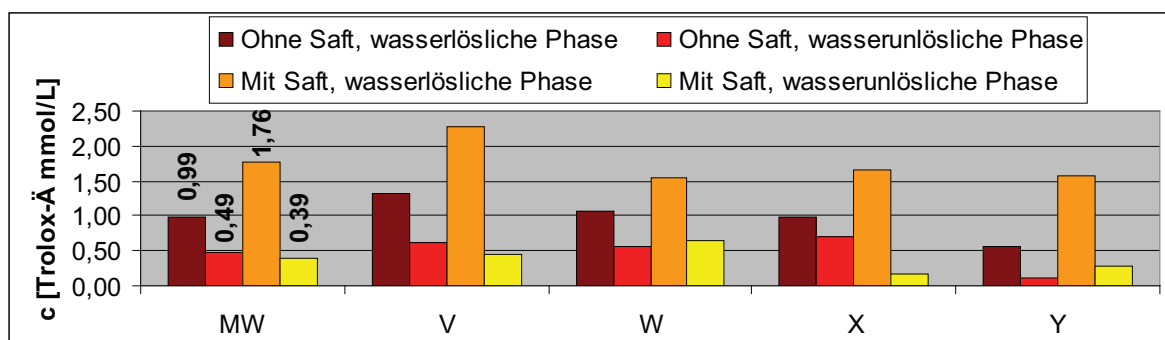


Abbildung 4.22: TAC-Werte in Glaserbsen. MW sind die Mittelwerte von V bis Y



Tabelle 4.7 gibt einen Überblick über die ermittelten Daten der Totalen Antioxidativen Kapazität der untersuchten Erbsen für jede Produktgruppe. Es sind Mittelwerte (MW), Standardabweichung (sd), sowie Minimal- und Maximalwerte zu finden.

Tabelle 4.7: *TAC-Werte der untersuchten Erbsen*

TAC (mMol Trolox-Ä)		MW $\pm$ sd	Minimum	Maximum
<b>Wasserlösliche Phase</b>				
	Frisch	$0.93 \pm 0.10$	0.82	1.02
	ZS	$1.71 \pm 0.10$	1.54	1.88
	TK	$1.59 \pm 0.24$	1.23	1.96
Ohne	Dose	$0.76 \pm 0.26$	0.30	1.07
Saft	Glas	$0.99 \pm 0.31$	0.57	1.33
Mit	Dose	$1.46 \pm 0.57$	0.54	2.17
Saft	Glas	$1.76 \pm 0.34$	1.54	2.27
<b>Wasserunlösliche Phase</b>				
	Frisch	$0.04 \pm 0.03$	0.02	0.07
	ZS	$0.11 \pm 0.04$	0.09	0.14
	TK	$0.24 \pm 0.10$	0.11	0.45
Ohne	Dose	$0.23 \pm 0.14$	0.06	0.48
Saft	Glas	$0.49 \pm 0.26$	0.11	0.69
Mit	Dose	$0.40 \pm 0.17$	0.18	0.65
Saft	Glas	$0.39 \pm 0.21$	0.18	0.65
<b>Frisch</b> ... Frische Erbsen (A)		<b>ZS</b> ... Zuckerschoten-Erbsen (B,C)		
<b>TK</b> ... Tiefkühlerbsen (D-M)		<b>Dose</b> ... Dosenerbsen (N-U)		
<b>Glas</b> ... Glaserbsen (V-Y)				

### 4.3.6 TAC-Gehalte der Erbsenprodukte im Vergleich

#### 4.3.6.1 Wasserlösliche Phase

Die TAC-Werte der wasserlöslichen Phase in Frishen Erbsen ( $0.93 \pm 0.10$  mMol Trolox-Ä/l) unterschieden sich signifikant ( $p < 0.001$ ) sowohl im Vergleich mit ZS-Erbsen ( $1.71 \pm 0.10$  mMol Trolox-Ä/l) als auch mit Tiefkühlerbsen ( $1.59 \pm 0.24$  mMol Trolox-Ä/l). Der Vergleich der TAC-Werte von Frishen Erbsen mit Dosenerbsen zeigte bei Dosenerbsen ohne Saft ( $0.76 \pm 0.26$  mMol Trolox-Ä/l) keine signifikanten Unterschiede, jedoch konnte im Vergleich zu Dosenerbsen mit Saft ( $1.46 \pm 0.57$  mMol Trolox-Ä/l) eine signifikante Differenz ( $p < 0.05$ ) ermittelt werden. Ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede ergab der Vergleich der antioxidativen Kapazität der Frishen Erbsen mit Glaserbsen ohne Saft ( $0.99 \pm 0.31$  mMol Trolox-Ä/l), hingegen wurde zwischen Frishen

Erbsen und Glaserbsen mit Saft ( $1.76 \pm 0.34$  mMol Trolox-Ä/l) eine hoch signifikante Differenz ( $p < 0.01$ ) gefunden.

Beim Vergleich der TAC-Werte der ZS-Erbsen konnte zwischen Frischen Erbsen und Dosenerbsen ohne Saft sowie Glaserbsen ohne Saft ein höchst signifikanter Unterschied ( $p < 0.001$ ) festgestellt werden, jedoch wurden mit anderen Produktgruppen keinerlei Signifikanzen gefunden.

Die totale antioxidative Kapazität der wasserlöslichen Phase der Tiefkühlerbsen zeigte neben der schon genannten Signifikanz zwei weitere signifikante Differenzen, einerseits im Vergleich zur totalen antioxidativen Kapazität der Dosenerbsen ohne Saft ( $p < 0.001$ ) sowie zu den Glaserbsen ohne Saft ( $p < 0.01$ ).

Dosenerbsen ohne Saft wiesen neben den bereits erwähnten Signifikanzen auch im Vergleich mit Dosenerbsen mit Saft eine signifikante Differenz ( $p < 0.01$ ) auf. Weiters unterschieden sich die TAC-Werte der Dosenerbsen ohne Saft signifikant ( $p < 0.001$ ) von den TAC-Werten der Glaserbsen mit Saft.

Für die Dosenerbsen mit Saft ergab der Vergleich der TAC-Konzentrationen der wasserlöslichen Phase die bereits genannte signifikante Differenz ( $p < 0.05$ ) zu den Frischen Erbsen und eine hoch signifikante Differenz ( $p < 0.01$ ) zu den Dosenerbsen ohne Saft. Ansonsten wiesen Dosenerbsen mit Saft keinerlei signifikante Unterschiede im Vergleich mit anderen Erbsenprodukten auf.

Glaserbsen ohne Saft ließen im Vergleich mit den anderen Erbsenprodukten nur in 3 Fällen signifikante Unterschiede erkennen. Die TAC-Werte der Glaserbsen ohne Saft unterschieden sich signifikant von den TAC-Werten der ZS-Erbsen ( $p < 0.001$ ), der Tiefkühlerbsen ( $p < 0.01$ ) und der Glaserbsen mit Saft ( $p < 0.05$ ).

Der Vergleich der totalen antioxidativen Kapazität von Glaserbsen mit Saft und Frischen Erbsen zeigte einen signifikanten Unterschied ( $p < 0.01$ ). Die wasserlöslichen TAC-Werte von Glaserbsen mit Saft unterschieden sich signifikant ( $p < 0.001$ ) von den TAC-Werten der Dosenerbsen ohne Saft. Der signifikante Unterschied ( $p < 0.05$ ) zwischen Glaserbsen ohne Saft und Glaserbsen mit Saft wurde bereits erwähnt.

##### 4.3.6.2 Wasserunlösliche Phase

Der Vergleich der totalen antioxidativen Kapazität der wasserunlöslichen Phase von Frischen Erbsen führte in allen Produktgruppen zu statistisch signifikanten Unterschieden. Signifikante Differenzen ( $p < 0.001$ ) wurden zwischen Frischen Erbsen ( $0.04 \pm 0.03$  mMol Trolox-Ä/l) und ZS-Erbsen ( $0.11 \pm 0.04$  mMol Trolox-Ä/l), sowie zwischen Frischen Erbsen und Dosenerbsen mit Saft ( $0.40 \pm 0.17$  mMol Trolox-Ä/l) ermittelt. Der Vergleich der TAC-Werte von Frischen Erbsen und Tiefkühlerbsen ( $0.24 \pm 0.10$  mMol Trolox-Ä/l) zeigte ebenfalls einen signifikanten Unterschied ( $p < 0.01$ ). Signifikante Differenzen ( $p < 0.05$ ) wurden zwischen Frischen Erbsen und Dosenerbsen ohne Saft ( $0.23 \pm 0.14$  mMol Trolox-Ä/l), Glaserbsen ohne Saft ( $0.49 \pm 0.26$  mMol Trolox-Ä/l) und Glaserbsen mit Saft ( $0.39 \pm 0.21$  mMol Trolox-Ä/l) festgestellt.

In der Produktgruppe der ZS-Erbsen wurde zwischen den ZS-Erbsen und den Tiefkühlerbsen ein signifikanter Unterschied ( $p < 0.05$ ) gefunden. Einen weiteren signifikanten

Unterschied ( $p < 0.01$ ) zeigte der Vergleich der TAC–Werte der ZS–Erbsen mit den Dosenerbsen mit Saft.

Neben den bereits erwähnten Signifikanzen der Tiefkühlerbsen wurden auch zwischen den TAC–Werten der Tiefkühlerbsen und der Dosenerbsen mit Saft und der Glaserbsen ohne Saft signifikante Differenzen ( $p < 0.05$ ) beobachtet.

Der TAC–Wert der Dosenerbsen ohne Saft unterschied sich signifikant ( $p < 0.05$ ) von den Dosenerbsen mit Saft und den Glaserbsen ohne Saft (Tabelle 4.8).

Tabelle 4.8: *Signifikante Unterschiede der TAC–Konzentrationen in der wasserlöslichen und wasserunlöslichen Phase*

Produktgruppe	Wasserlösliche Phase	Wasserunlösliche Phase
Frisch/ZS	***	***
Frisch/TK	***	**
Frisch/Dose ohne Saft	—	*
Frisch/Dose mit Saft	*	***
Frisch/Glas ohne Saft	—	*
Frisch/Glas mit Saft	**	*
ZS/Frisch	***	***
ZS/TK	—	*
ZS/Dose ohne Saft	***	—
ZS/Dose mit Saft	—	**
ZS/Glas ohne Saft	***	—
ZS/Glas mit Saft	—	—
TK/Frisch	***	**
TK/ZS	—	*
TK/Dose ohne Saft	***	—
TK/Dose mit Saft	—	*
TK/Glas ohne Saft	**	*
TK/Glas mit Saft	—	—
Dose ohne Saft/Frisch	—	*
Dose ohne Saft/ZS	***	—
Dose ohne Saft/TK	***	—
Dose ohne Saft/Dose mit Saft	**	*
Dose ohne Saft/Glas ohne Saft	—	*
Dose ohne Saft/Glas mit Saft	***	—
Dose mit Saft/Frisch	*	***
Dose mit Saft/ZS	—	**
Dose mit Saft/TK	—	*
Dose mit Saft/Dose ohne Saft	**	*
Dose mit Saft/Glas ohne Saft	—	—

Dose mit Saft/Glas mit Saft	—	—
Glas ohne Saft/Frisch	—	*
Glas ohne Saft/ZS	***	—
Glas ohne Saft/TK	**	*
Glas ohne Saft/Dose ohne Saft	—	*
Glas ohne Saft/Dose mit Saft	—	—
Glas ohne Saft/Glas mit Saft	*	—
Glas mit Saft/Frisch	**	*
Glas mit Saft/ZS	—	—
Glas mit Saft/TK	—	—
Glas mit Saft/Dose ohne Saft	***	—
Glas mit Saft/Dose mit Saft	—	—
Glas mit Saft/Glas ohne Saft	*	—
* ... signifikant ( $p < 0.05$ )		
** ... hoch signifikant ( $p < 0.01$ )		
*** ... höchst signifikant ( $p < 0.001$ )		
— ... nicht signifikant		

---

#### 4.3.7 Diskussion der TAC–Ergebnisse

Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Erbsenprodukte wurden mittels TEAC auf ihre totale antioxidative Kapazität in der wasserlöslichen und wasserunlöslichen Phase analysiert.

Zusammenfassend kann man aus den vorliegenden Ergebnissen ableiten, dass die totale antioxidative Kapazität in der wasserlöslichen Phase um bis zu 96% höher war als in der wasserunlöslichen Phase. Der Unterschied zwischen den beiden Werten war bei den Frischen Erbsen und den ZS–Erbsen am höchsten, da der TAC–Wert der wasserlöslichen Phase der Frischen Erbsen um 96% bzw. der ZS–Erbsen um 94% größer war als der TAC–Wert der wasserunlöslichen Phase. Bei den Tiefkühlerbsen war der Unterschied zwischen den beiden Phasen etwas geringer, da der TAC–Wert der wasserlöslichen Phase um 85% größer war als der TAC–Wert der wasserunlöslichen Phase. Bei den Dosen– und Glaserbsen waren die Phasen–Unterschiede nochmals geringer, da die wasserlöslichen TAC–Werte der Dosenerbsen um 70% bzw. der Glaserbsen um 50% größer waren im Vergleich zu den wasserunlöslichen TAC–Werten.

Die in dieser Arbeit ermittelten TAC–Werte der Dosen– und Glaserbsen, die sowohl ohne als auch mit der prozessbedingten Aufgussflüssigkeit untersucht wurden, zeigten deutliche Differenzen. Waren die TAC–Werte der wasserlöslichen Phase in Dosenerbsen „ohne Saft“ um 70% höher als die TAC–Werte in der wasserunlöslichen Phase, so war der Unterschied zwischen den beiden Phasen in Dosenerbsen „mit Saft“ um 73% höher. Bei den Glaserbsen „ohne Saft“ war der wasserlösliche TAC–Wert 50% höher als der TAC–Wert der wasserunlöslichen Phase, jedoch war der Unterschied zwischen diesen beiden Phasen in Glaserbsen „mit Saft“ mit 78% deutlich höher.

Betrachtet man die Unterschiede der wasserlöslichen TAC-Werte zwischen Dosen- und Glaserbsen „ohne Saft“ und „mit Saft“ so ergeben sich folgende Verhältnisse: für Dosenerbsen Ohne Saft : Mit Saft = 1 : 1.9, für Glaserbsen Ohne Saft : Mit Saft = 1 : 1.7. Aus diesen Verhältnissen ist erkennbar, dass die jeweiligen TAC-Werte der wasserlöslichen Phase der Erbsenprodukte „mit Saft“ eine fast doppelt so hohe antioxidative Kapazität aufweisen als die Produkte „ohne Saft“.

Der Vergleich der TAC-Werte der wasserunlöslichen Phase zwischen Dosenerbsen „ohne Saft“ und „mit Saft“ resultiert in folgendem Verhältnis: Ohne Saft : Mit Saft = 1 : 1.7. Der selbe Vergleich bei den Glaserbsen führt zu anschließendem Verhältnis: Ohne Saft : Mit Saft = 1 : 0.8.

Bei dem Vergleich der ermittelten Ergebnisse mit den Literaturangaben konnten einige Unterschiede festgestellt werden (Tabelle 4.9), die auf die angewandte Methode (TEAC), saisonale und regionale Unterschiede, Reifestadium, Lager- und Prozessbedingungen zurückzuführen sind [Franke et al., 2004].

Tabelle 4.9: Vergleich der erhaltenen TAC-Werte mit den Literaturdaten. WL = Wasserlösliche Phase, WUL = Wasserunlösliche Phase

	Frische Erbsen		Frische ZS-Erbsen		Tiefkühl-Erbsen		Dosen-Erbsen		Glas-Erbsen	
	WL	WUL	WL	WUL	WL	WUL	WL	WUL	WL	WUL
<b>A</b>	0.93	0.04	1.71	0.11	1.59	0.24	0.76	0.23	0.99	0.49
<b>B</b>	2.23	0.15	–	–	1.75	1.29	0.91	0.12	0.93	0.14
<b>C</b>	–	–	–	–	0.61	0.23	–	–	–	–
<b>D</b>	3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<b>E</b>	1.80	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<b>F</b>	–	–	–	–	5.05	0.95	3.04	0.80	–	–
<b>A</b> ... Eigene Daten, TEAC										
<b>B</b> ... Hunter und Fletcher [2002], FRAP										
<b>C</b> ... Akesson et al. [2004], FRAP										
<b>D</b> ... Miller et al. [2000], DPPH										
<b>E</b> ... Baik und Han [2008], TEAC										
<b>F</b> ... Prior et al. [2004], ORAC										

Der in vorliegender Arbeit detektierte wasserlösliche TAC-Wert in Frischen Erbsen ( $0.93 \pm 0.10$  mMol Trolox-Ä/l) war im Vergleich zu den gemessenen Werten von Baik und Han [2008] (1.80 mMol Trolox-Ä/l), Hunter und Fletcher [2002] (2.23 mMol Trolox-Ä/l) und Miller et al. [2000] (3 mMol Trolox-Ä/l) um 48%, 58% und 69% kleiner. Der von Hunter und Fletcher [2002] ermittelte TAC-Wert für die wasserunlösliche Phase (0.15 mMol Trolox-Ä/l) war im Vergleich zu den eigenen Daten (0.04 mMol Trolox-Ä/l) um 73% größer.

Der in vorliegender Arbeit in Tiefkühlerbsen festgestellte TAC-Werte der wasserlöslichen Phase ( $1.59 \pm 0.24$  mMol Trolox-Ä/l) war im Vergleich zu dem von Hunter und Fletcher [2002] bestimmten Wert ( $1.75$  mMol Trolox-Ä/l) um 10% kleiner, jedoch im Vergleich zu dem von Akesson et al. [2004] ermittelten TAC-Wert ( $0.61$  mMol Trolox-Ä/l) um 62% größer. Hingegen war der detektierte wasserunlösliche TAC-Wert der eigenen Untersuchung ( $0.24 \pm 0.10$  mMol Trolox-Ä/l) im Vergleich zu dem von Akesson et al. [2004] ermittelten Wert ( $0.23$  mMol Trolox-Ä/l) um 10% größer, jedoch im Vergleich zu dem von Hunter und Fletcher [2002] festgestelltem Wert ( $1.29$  mMol Trolox-Ä/l) um 82% kleiner. Der von Prior et al. [2004] festgestellte Wert der wasserlöslichen Phase ( $5.05$  mMol Trolox-Ä/l) und der Wert der wasserunlöslichen Phase ( $0.95$  mMol Trolox-Ä/l) war um 69% bzw. 94% größer, im Vergleich zu den eigenen Daten. Die Unterschiede zwischen der wasserlöslichen und wasserunlöslichen Phase betrug in vorliegender Arbeit 85%, bei Akesson et al. [2004] 62%, bei Hunter und Fletcher [2002] 26% und bei Prior et al. [2004] 24%.

Der TAC-Wert der wasserlöslichen Phase in Dosenerbsen ( $0.91$  mMol Trolox-Ä/l), der von Hunter und Fletcher [2002] ermittelt wurde, war im Vergleich zu den eigenen Daten ( $0.76 \pm 0.26$  mMol Trolox-Ä/l) um 17% größer. Im Gegensatz dazu war der in vorliegender Arbeit detektierte wasserunlösliche TAC-Wert ( $0.23 \pm 0.14$  mMol Trolox-Ä/l) um 48% größer als im Vergleich zu Hunter und Fletcher [2002] ( $0.12$  mMol Trolox-Ä/l). Der wasserlösliche TAC-Wert, der von Prior et al. [2004] festgestellt wurde ( $3.04$  mMol Trolox-Ä/l) war im Vergleich zu dem in vorliegender Arbeit gemessenem Wert um 75% größer und der wasserunlösliche TAC-Wert ( $0.80$  mMol Trolox-Ä/l) um 71%. Vergleicht man die TAC-Werte der wasserlöslichen und wasserunlöslichen Phase, so unterscheiden sich die beiden in vorliegender Arbeit um 70%, bei Hunter und Fletcher [2002] um 87% und bei Prior et al. [2004] um 74%.

Der in vorliegender Arbeit in Glaserbsen bestimmte TAC-Wert der wasserlöslichen Phase ( $0.99 \pm 0.31$  mMol Trolox-Ä/l) war im Vergleich zu dem von Hunter und Fletcher [2002] gemessenem Wert ( $0.93$  mMol Trolox-Ä/l) um 6% größer. Der TAC-Wert der wasserunlöslichen Phase der eigenen Daten ( $0.49 \pm 0.26$  mMol Trolox-Ä/l) hingegen war im Vergleich zum TAC-Wert von Hunter und Fletcher [2002] ( $0.14$  mMol Trolox-Ä/l) um 71% größer. Der Unterschied der wasserlöslichen und wasserunlöslichen Phase betrug in vorliegender Arbeit 50% und bei Hunter und Fletcher [2002] 85%.

Die totale antioxidative Kapazität (TAC, Total Antioxidative Capacity) von Gemüsearten ist sehr stark von den Anbaubedingungen abhängig. Weiters variiert sie auch beachtlich von Sorte zu Sorte wie die Untersuchungen zeigen. Diese großen Schwankungen innerhalb derselben Gemüseart können durch die Einflüsse der verschiedenen Sorten, des Standortes, der Erntezeit usw. erklärt werden. All diese Faktoren wirken sich auf die Gehalte der, in diesen Gemüsearten enthaltenen, Antioxidantien aus [Ou et al., 2002].

Prior et al. [2004] ermittelte die antioxidative Kapazität der wasserlöslichen und wasserunlöslichen Phase und addierte die jeweiligen Werte anschließend, um die totale antioxidative Kapazität zu erhalten. Generell erreichten die wasserunlöslichen Werte höchstens 1/10 der wasserlöslichen Werte. Die Streubreite der wasserlöslichen Werte war in Früchten ( $1.23$  in Wassermelone bis  $92.56$  in Cranberry) deutlich höher im Vergleich zu Gemüse, deren Werte durchschnittlich zwischen  $5$  und  $20$   $\mu\text{mol TE/g}$  lagen. Die

höchsten TAC–Werte wurden in Cranberry und Broccoli gefunden.

Addiert man die in vorliegender Arbeit detektierten TAC–Werte der wasserlöslichen und wasserunlöslichen Phase jeder Erbsengruppe, so ergibt sich folgende Reihenfolge der gesamten antioxidativen Kapazität: Frische Erbsen > Dosenerbsen ohne Saft (OS) > Glaserbsen ohne Saft (OS) > ZS–Erbsen > TK–Erbsen > Dosenerbsen mit Saft (MS) > Glaserbsen mit Saft (MS) (Abb. 4.23).

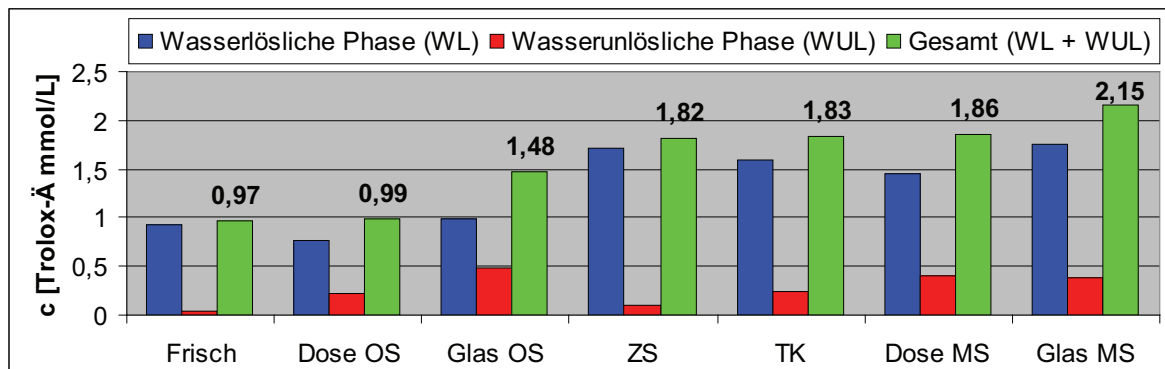


Abbildung 4.23: Gesamt TAC–Werte (wasserlösliche und wasserunlösliche Phase) der untersuchten Erbsenprodukte im Vergleich. OS = Ohne Saft, MS = Mit Saft

Die Lagerungsdauer nach der Ernte spielt ebenfalls eine Rolle für die totale antioxidative Kapazität von Gemüse, wobei die Lagerung bei 4°C mögliche Verluste minimieren kann. Weitere Faktoren, die zu einer Verminderung der totalen antioxidativen Kapazität führen können, sind abermals industrielle Bearbeitungsprozesse wie Blanchieren, Gefrieren und Hitzesterilisation. Hunter und Fletcher [2002] berichteten über einen durchschnittlichen TAC–Verlust von 20% der wasserlöslichen Phase durch den Blanchiervorgang, jedoch waren die TAC–Werte während dem Tiefgefrieren konstant. Hingegen zeigten Lagerung, Blanchieren und Tiefgefrieren keinerlei Auswirkungen auf die antioxidative Kapazität der wasserunlöslichen Phase.

Größere Verluste der totalen antioxidativen Kapazität, besonders der wasserlöslichen Kapazität sind durch industrielle Bearbeitungsprozesse wie die Hitzesterilisation zu erwarten. Bei diesem Prozess wird das Gemüse üblicherweise in Wasser bei sehr hohen Temperaturen (95–121°C) für einige Minuten erhitzt, was unter Umständen einen thermischen Abbau der Antioxidantien und eine Auslaugung der wasserlöslichen Antioxidantien wie z.B. Vitamin C in die Aufgussflüssigkeit bewirkt. Dies wird durch die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Ergebnissen bestätigt. Aus diesem Grund sollte bei der Verwendung von Dosen- und Glaserbsen die antioxidativ wertvolle Aufgussflüssigkeit ebenfalls verwendet und nicht verworfen werden [Hunter und Fletcher, 2002; Chang und Xu, 2008; Bruhn et al., 2007b].

Murcia et al. [2009] untersuchten die antioxidative Kapazität verschiedener Gemüsesorten im rohen als auch im industriell bearbeiteten Zustand (tiefgefroren und hitzesterilisiert) sowie während der entsprechenden Lagerung. Es wurde beobachtet, dass die Verluste der antioxidativen Kapazität in frischem Gemüse während einer 7-tägigen

Lagerung im Kühlschrank meist gering (0.2 % in Bohnen, 0.6% in Roter Beete und grünen Erbsen, 1.5% in Karfiol) ausfielen, jedoch in Kohlsprossen (30%), Broccoli (41%) und Lauch (47%) am höchsten waren. Die Ergebnisse zeigten, dass die TAC-Verluste durch den Gefrierprozess (0.5% in Erbsen, 1.5% in Spargel, 2% in Kohlsprossen) und auch während einer 8-monatigen Lagerung bei  $-20^{\circ}\text{C}$  (0.2–0.9%) minimal waren, mit Ausnahme von Knoblauch (33% bzw. 37%).

Die Analyse der hitzesterilisierten Gemüseprodukte zeigte, dass die Verluste der antioxidativen Kapazität im Bereich von 0.5 bis 2.6% lagen. Die Verluste nach einer 18-monatigen Lagerung bei Raumtemperatur bewegten sich zwischen 0.9 und 2.1%. Besonders hoch war der Verlust der antioxidativen Kapazität in Lauch (18%), Mais (27%), Erbsen (34%) und Knoblauch (35%), wobei nach der Lagerungsdauer die Verluste in den Erbsen mit 37% mit Abstand am höchsten waren [Murcia et al., 2009].

Weiters untersuchten Murcia et al. [2009] die in den hitzesterilisierten Dosen enthaltenen Gemüse und die Aufgussflüssigkeit getrennt voneinander. Es wurde festgestellt, dass manche Flüssigkeiten etwas kleinere TAC-Werte im Vergleich zum rohen Gemüse aufwiesen (Rote Beete, Broccoli, Karotte, Spargel, Erbsen, Mais), aber auch leicht höhere TAC-Werte (Kohlsprossen, Artischocke, Karfiol, Lauch). Erwähnenswert ist der Umstand, dass die letztgenannten Produkte, mit Ausnahme der Kohlsprossen, Ascorbinsäure als Zusatzstoff aufgelistet hatten. Nach Murcia et al. [2009] kann die Zugabe von Zusatzstoffen (Ascorbinsäure oder Zitronensäure) einen Einfluss auf die antioxidative/pro-oxidative Aktivität der Produkte haben.

Frígola et al. [2009] verglichen mittels ORAC und TEAC die antioxidative Kapazität von wasserlöslichen (Ascorbinsäure, Gallussäure, Albumin) und wasserunlöslichen ( $\beta$ -Carotin, Lutein, Zeaxanthin) Antioxidantien. Die ermittelten Werte für Ascorbinsäure und Gallussäure waren mit TEAC höher als mit ORAC, bei Albumin war es genau umgekehrt. Die antioxidative Kapazität der Carotinoide ergab anhand von TEAC folgende Reihenfolge:  $\beta$ -Carotin > Lutein > Zeaxanthin. Im Gegensatz dazu zeigten die Xanthophylle (Lutein und Zeaxanthin) mit ORAC höhere Werte als im Vergleich zu  $\beta$ -Carotin, was möglicherweise auf die Anwesenheit der Hydroxylgruppen an den Endringen zurückzuführen ist.

Akesson et al. [2004] stellten bei ihrer Analyse fest, dass L-AA ein wichtiger Bestandteil der totalen antioxidativen Kapazität in der wasserlöslichen Phase darstellt, da die ermittelten Ascorbinsäuregehalte sehr stark mit den wasserlöslichen TAC-Werten korrelierten. Hunter und Fletcher [2002] beweisen, dass etwa die Hälfte der eruierten antioxidativen Kapazität der wasserlöslichen Phase durch den Gehalt an Ascorbinsäure bedingt ist.

Akesson et al. [2004] vermuten, dass sich durch die Aceton-Extraktion die fettlöslichen Antioxidantien wie  $\beta$ -Carotin und  $\alpha$ -Tocopherol in der wasserunlöslichen Phase befinden. Die von Prior et al. [2004] mittels ORAC detektierten TAC-Werte für die wasserunlösliche Phase in verschiedenen Früchten und Gemüsesorten waren im allgemeinen niedrig. Von allen Früchten wies Avocado den höchsten Wert auf, deren Gehalt um bis zu 99% höher war im Vergleich zu anderen Früchten. Avocado enthält Vitamin E und einfach ungesättigte Fettsäuren wie die Linolsäure, aber welche lipophilen Bestandteile die hohen wasserunlöslichen TAC-Werte bewirken ist weithin unbekannt.



Dosen- und Glasgemüseprodukte sind aufgrund des Sterilisationsprozesses verzehrfertig und können ohne weitere Kochprozesse verwendet werden. Im Vergleich dazu müssen die meisten frischen oder tiefgekühlten Gemüsesorten entweder in Wasser gekocht, gedämpft oder mittels Mikrowelle erhitzt werden bevor sie konsumiert werden können. Diese thermischen Behandlungen führen zu zahlreichen Veränderungen der physikalischen Eigenschaften und chemischen Zusammensetzung der Gemüsesorten.

Velioglu et al. [2005] untersuchten den Effekt von Zubereitungsmethoden auf den Gesamt-Phenolgehalt und die antioxidative Aktivität von Erbsen und anderen ausgewählten Gemüsearten. Der Gesamt-Phenolgehalt und die antioxidative Kapazität in grünen Erbsen wurde durch Kochen am meisten reduziert, gefolgt vom Erhitzen in der Mikrowelle, jedoch am wenigsten durch Dämpfen. Die Auswirkungen von Hitzebehandlungen auf die totale antioxidative Kapazität in grünen Erbsen wurden auch von Hunter und Fletcher [2002] analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass das Erhitzen mittels Mikrowelle zu einem leichten Anstieg der antioxidativen Kapazität in der wasserlöslichen Phase führt, jedoch resultiert das Kochen in einem 15%igen Verlust und das Überkochen in einem 34%igen Verlust der wasserlöslichen TAC. Hingegen bewirken die letzten beiden Kochverfahren eine geringe Steigerung der wasserunlöslichen TAC-Werte, was auf das zusätzliche Zerkochen der zellulären Strukturen und damit verbundene Freisetzung von Carotinoid-Verbindungen zurückzuführen ist [Hunter und Fletcher, 2002].

Pellegrini et al. [2008] analysierten die Effekte verschiedener Kochmethoden auf die nutritiven und physicochemischen Eigenschaften ausgewählter Gemüsearten. Die Ergebnisse zeigen, dass z.B. die totale antioxidative Kapazität in Karotten mit jeder Zubereitungsmethode (Kochen, Dämpfen, Braten) signifikant erhöht wurde. Die höchsten TAC-Werte wurden beim Braten festgestellt, gefolgt vom Kochen und Dämpfen. Da jedoch die höchsten Vitamin C Verluste beim Braten ermittelt wurden, sind die erhöhten TAC-Werte auf neu geformte Moleküle mit einer hohen antioxidativen Kapazität, wie Maillard-Reaktionsprodukte, zurückzuführen. Der Kochvorgang führte zur höchsten Zurückhaltung von Ascorbinsäure und Carotinoiden, jedoch zu einem vollständigen Verlust der Phenole und zur höchsten Bildung von cis-Carotinoiden. Die Verbesserung der Carotinoid-Bioverfügbarkeit und deren Transformation in aktivere Komponenten können für die gesteigerten TAC-Werte verantwortlich sein [Pellegrini et al., 2008].

Es ist zu beachten, dass sich ein Großteil der totalen antioxidativen Kapazität aus noch unbekannten Komponenten zusammensetzt, da sich in pflanzlichen Geweben wahrscheinlich noch viele Substanzen mit antioxidativer Wirkung befinden. Zu einigen bereits bekannten antioxidativ wirksamen Komponenten zählen Flavonoide und weitere phenolische Verbindungen, einige andere Vitamine neben Vitamin A, C und E wie Riboflavin, Ubiquinon und Vitamin K. Ungesättigte Fettsäuren wie Linolsäure oder Linolensäure können aufgrund ihrer Doppelbindungen als Antioxidantien wirken und kommen auch in relativ hohen Konzentrationen in Pflanzen vor [Hunter und Fletcher, 2002]. In grünen Erbsen sind 247 mg Linolsäure und 50 mg Linolensäure vorhanden [Souci et al., 2008].

## 4.4 Trockensubstanz

### 4.4.1 In Frischen Erbsen

In Frischen Erbsen betrug die Trockenmasse 1.16 g/5 g Einwaage, wodurch der Wassergehalt von 3.86 g/5 g berechnet werden konnte. Die prozentuelle Trockensubstanz in Frischen Erbsen lag im Mittel bei  $23.11 \pm 0.02\%$ , mit 23.09% als geringsten Gehalt und 23.12% als höchsten (Tabelle 4.10, Abb. 4.24).

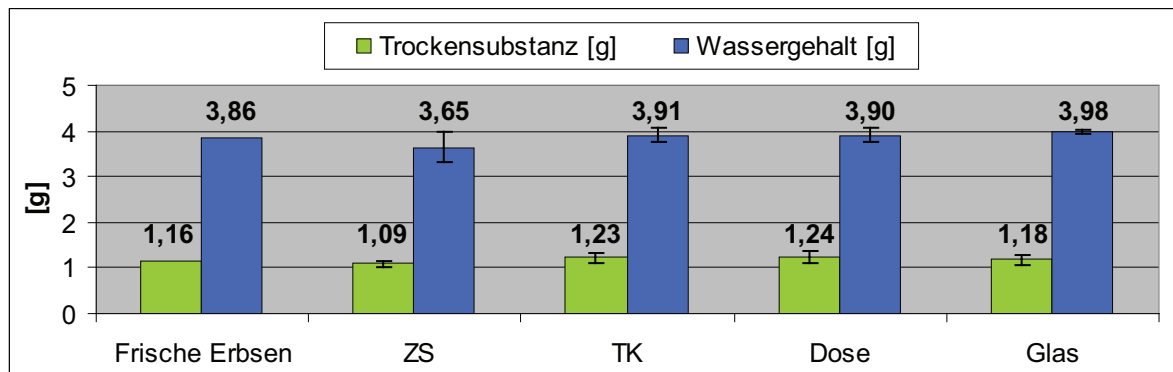


Abbildung 4.24: Trockenmasse in [g/Einwaage (5g)] der untersuchten Erbsenprodukte im Vergleich

### 4.4.2 In Frischen Zuckerschotenerbsen

In den Frischen ZS-Erbsen wurde eine durchschnittliche Trockenmasse von  $1.09 \pm 0.06$  g/5 g festgestellt und ein Wassergehalt von  $3.65 \pm 0.35$  g/5 g berechnet. Die mittlere prozentuelle Trockensubstanz betrug  $23.02 \pm 0.75\%$ , wobei der niedrigste Gehalt bei 22.49% und der höchste bei 23.55% lag (Tabelle 4.10, Abb. 4.24).

### 4.4.3 In Tiefkühlerbsen

Die mittlere Trockenmasse in TK-Erbsen betrug  $1.23 \pm 0.11$  g/5 g Einwaage und der daraus berechnete mittlere Wassergehalt  $3.91 \pm 0.14$  g/5 g. Die TK-Erbsen enthielten im Durchschnitt  $23.92 \pm 2.27\%$  Trockensubstanz. Der geringste Gehalt betrug 30.35% und der höchste 28.54% (Tabelle 4.10, Abb. 4.24).

### 4.4.4 In Dosenerbsen

Die Trockenmasse in Dosenerbsen lag im Mittel bei  $1.24 \pm 0.15$  g/5 g Einwaage, woraus der mittlere Wassergehalt von  $3.90 \pm 0.16$  g/5 g berechnet wurde. In Dosenerbsen wurde mit  $24.16 \pm 2.72\%$  der höchste durchschnittliche Gehalt an Trockensubstanz ermittelt, wobei der niedrigste Gehalt bei 21.21% und der höchste bei 29.37% lag (Tabelle 4.10, Abb. 4.24).

### 4.4.5 In Glaserbsen

Die ermittelte Trockenmasse in Glaserbsen betrug im Durchschnitt  $1.18 \pm 0.10$  g/5 g Einwaage, was in einem mittleren Wassergehalt von  $3.98 \pm 0.05$  g/5 g resultierte. In Glaserbsen wurde der niedrigste mittlere Trockensubstanzanteil von  $22.90 \pm 1.74\%$  festgestellt. Der geringste Gehalt betrug 20.49% und der höchste 24.65% (Tabelle 4.10, Abb. 4.24).

In Tabelle 4.10 finden sich die Mittelwerte (MW), die Standardabweichung (sd), sowie die Minimal- und Maximalwerte, die einen Überblick über die ermittelten Daten der durchgeführten Trockensubstanz-Bestimmung der untersuchten Erbsen gibt.

Tabelle 4.10: *Trockensubstanz- und Wassergehalt der untersuchten Erbsen*

		MW $\pm$ sd	Minimum	Maximum
TS in Gramm [g]/Einwaage	Frisch	$1.16 \pm 0.00$	1.16	1.16
	ZS	$1.09 \pm 0.06$	1.05	1.13
	TK	$1.23 \pm 0.11$	1.03	1.44
	Dose	$1.24 \pm 0.15$	1.09	1.55
	Glas	$1.18 \pm 0.10$	1.05	1.29
WG in Gramm [g]/Einwaage	Frisch	$3.86 \pm 0.00$	3.86	3.86
	ZS	$3.65 \pm 0.35$	3.41	3.90
	TK	$3.91 \pm 0.14$	3.59	4.08
	Dose	$3.90 \pm 0.16$	3.69	4.16
	Glas	$3.98 \pm 0.05$	3.94	4.06
TS in Prozent [%]	Frisch	$23.11 \pm 0.02$	23.09	23.12
	ZS	$23.02 \pm 0.75$	22.4	23.55
	TK	$23.92 \pm 2.27$	20.3	28.54
	Dose	$24.16 \pm 2.72$	21.21	29.37
	Glas	$22.90 \pm 1.74$	20.49	24.65
WG in Prozent [%]	Frisch	$76.90 \pm 0.02$	76.88	76.91
	ZS	$76.98 \pm 0.75$	76.45	77.51
	TK	$76.08 \pm 2.27$	71.46	79.65
	Dose	$75.84 \pm 2.72$	70.63	78.79
	Glas	$77.11 \pm 1.74$	75.35	79.51
<b>TS</b> ... Trockensubstanz		<b>WG</b> ... Wassergehalt		
<b>Frisch</b> ... Frische Erbsen (A)		<b>ZS</b> ... Zuckerschoten-Erbsen (B,C)		
<b>TK</b> ... Tiefkühlerbsen (D-M)		<b>Dose</b> ... Dosenerbsen (N-U)		
<b>Glas</b> ... Glaserbsen (V-Y)				

### 4.4.6 Vitamin C Gehalt bezogen auf die Trockensubstanz (TS)

#### 4.4.6.1 In Frischen Erbsen

In Frischen Erbsen wurden im Mittel  $594.72 \pm 90.99$  mg TAA/100 g Trockensubstanz festgestellt, wobei die Streubreite zwischen 530.38 und 659.06 mg TAA/100 g TS lag. Die ermittelten L-AA und DHAA-Gehalte betrugen durchschnittlich  $209.38 \pm 72.75$  mg L-AA/100 g TS und  $209.38 \pm 72.75$  mg DHAA/100 g TS. Der niedrigste L-AA Gehalt lag bei 372.44 und der höchste bei 398.24 mg/100 g TS. Der niedrigste DHAA Gehalt lag bei 157.93 mg und der höchste bei 260.82 mg/100 g TS (Tabelle 4.11, Abb. 4.25).

#### 4.4.6.2 In Frischen Zuckerschotenerbsen

Der TAA Gehalt betrug in den ZS-Erbsen im Durchschnitt  $459.60 \pm 27.82$  mg/100 g TS, wobei der geringste Gehalt bei 439.93 mg und der höchste bei 479.28 mg TAA/100 g TS lag. Der mittlere L-AA und DHAA-Gehalt wies  $235.00 \pm 8.57$  mg L-AA/100 g TS bzw.  $227.40 \pm 23.16$  mg DHAA/100 g TS auf. Die Schwankungsbreite der L-AA Gehalte reichte von 228.95 bis 241.06 mg/100 g TS, die der DHAA Gehalte von 211.03 bis 243.78 mg/100 g TS (Tabelle 4.11, Abb. 4.25).

#### 4.4.6.3 In Tiefkühlerbsen

Der mittlere TAA Gehalt in TK-Erbsen lag bei  $313.53 \pm 27.91$  mg/100 g TS, mit dem niedrigsten Gehalt bei 263.25 mg und dem höchsten bei 365.97 mg TAA/100 g TS. Der durchschnittliche L-AA Gehalt betrug  $65.22 \pm 11.47$  mg/100 g TS, wobei der niedrigste Gehalt 50.19 mg und der höchste 89.49 mg L-AA/100 g TS betrug. Die DHAA Gehalte lagen im Mittel bei  $248.31 \pm 25.24$  mg/100 g TS, mit dem niedrigsten Gehalt bei 213.07 mg und dem höchsten bei 298.18 mg DHAA/100 g TS (Tabelle 4.11, Abb. 4.25).

#### 4.4.6.4 In Dosenerbsen

In Dosenerbsen lag der durchschnittliche TAA Gehalt bei  $348.29 \pm 61.18$  mg/100 g TS. Der geringste Wert betrug 209.87 mg und der höchste 401.45 mg TAA/100 g TS. Der L-AA und DHAA Gehalt betrug im Mittel  $112.53 \pm 20.46$  mg L-AA/100 g TS bzw.  $236.02 \pm 53.45$  mg DHAA/100 g TS. Die Streubreite der L-AA Gehalte lag zwischen 93.63 und 151.16 mg/100 g TS, die der DHAA Gehalte zwischen 119.71 und 291.65 mg/100 g TS (Tabelle 4.11, Abb. 4.25).

#### 4.4.6.5 In Glaserbsen

Der mittlere TAA Gehalt betrug in Glaserbsen  $347.37 \pm 52.94$  mg/100 g TS, wobei der niedrigste Gehalt bei 300.65 mg und der höchste bei 394.67 mg TAA/100 g TS lag. Der L-AA und DHAA Gehalt betrug im Durchschnitt  $28.26 \pm 4.61$  mg L-AA/100 g TS bzw.  $318.81 \pm 49.55$  mg DHAA/100 g TS, wobei die Schwankungsbreite von 22.39 bis 33.38 mg L-AA/100 g TS bzw. von 273.18 bis 364.86 mg DHAA/100 g TS reichte (Tabelle 4.11, Abb. 4.25).

Tabelle 4.11: *Vitamin C Gehalt bezogen auf die TS der untersuchten Erbsen*

	TS [%]	T-AA [mg/100g] Produkt	TAA Gehalt bezogen auf TS [mg/100g] MW $\pm$ sd	Minimum	Maximum
Frisch	23.11	137.41	594.72 $\pm$ 90.99	530.38	659.06
ZS	23.02	105.91	459.60 $\pm$ 27.82	439.93	479.28
TK	23.92	74.86	313.53 $\pm$ 27.91	263.25	365.97
Dose	24.16	82.94	348.29 $\pm$ 61.18	209.87	401.45
Glas	22.90	79.08	347.37 $\pm$ 52.94	300.65	394.67

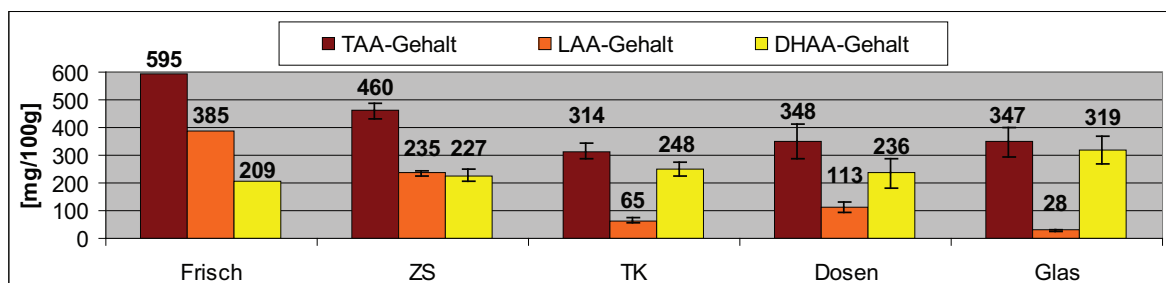
	TS [%]	L-AA [mg/100g] Produkt	L-AA Gehalt bezogen auf TS [mg/100g] MW $\pm$ sd	Minimum	Maximum
Frisch	23.11	89.04	385.34 $\pm$ 18.25	372.44	398.24
ZS	23.02	54.13	235.00 $\pm$ 8.57	228.95	241.06
TK	23.92	15.50	65.22 $\pm$ 11.47	50.19	89.49
Dose	24.16	26.85	112.53 $\pm$ 20.46	93.63	151.16
Glas	22.90	6.49	28.26 $\pm$ 4.61	22.39	33.38

	TS [%]	DHAA [mg/100g] Produkt	DHAA Gehalt bezogen auf TS [mg/100g] MW $\pm$ sd	Minimum	Maximum
Frisch	23.11	48.37	209.38 $\pm$ 72.75	157.93	260.82
ZS	23.02	52.44	227.40 $\pm$ 23.16	211.03	243.78
TK	23.92	59.37	248.31 $\pm$ 25.24	213.07	298.18
Dose	24.16	56.17	236.02 $\pm$ 53.45	119.71	291.65
Glas	22.90	72.59	318.81 $\pm$ 49.55	273.18	364.86

**TS** ... Trockensubstanz      **ZS** ... Zuckerschoten-Erbsen (B,C)  
**Frisch** ... Frische Erbsen (A)      **Dose** ... Dosenerbsen (N-U)  
**TK** ... Tiefkühlerbsen (D-M)      **Glas** ... Glaserbsen (V-Y)

Abbildung 4.25: *Vitamin C Gehalt bez. auf TS der untersuchten Erbsen [mg/100g TS]*

### 4.4.7 Carotinoid Gehalt bezogen auf die Trockensubstanz

Der Gesamt-Carotinoidgehalt bezogen auf die Trockensubstanz betrug in Frischen Erbsen im Durchschnitt  $123.65 \pm 0.00 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  und in ZS-Erbsen  $3.04 \pm 0.69 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ , mit einer Schwankungsbreite von 2.55 bis  $3.52 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ . Der durchschnittliche Gesamt-Carotinoidgehalt in TK-Erbsen betrug  $5.58 \pm 1.01 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ , wobei der niedrigste Gehalt bei 3.56 und der höchste bei  $6.94 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  lag. In Dosenerbsen und Glaserbsen betrug der Gesamt-Carotinoidgehalt im Mittel  $3.70 \pm 0.92 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  bzw.  $4.51 \pm 1.13 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ , mit Streubereichen von 2.28 und  $5.53 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  bzw. 3.34 bis  $5.90 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ .

#### 4.4.7.1 In Frischen Erbsen

In Frischen Erbsen betrug der durchschnittliche Lutein-Gehalt bezogen auf die TS  $87.26 \pm 2.68 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ , mit einer Streubreite von 84.92 bis  $90.18 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ . Der Gehalt von Zeaxanthin wies im Mittel  $23.83 \pm 2.14 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  auf, mit niedrigstem Gehalt bei 21.50 und höchstem bei  $25.70 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ . Der Gehalt von Cryptoxanthin und  $\alpha$ -Carotin betrug im Durchschnitt  $0.20 \pm 0.01 \mu\text{g Cryptoxanthin}/100 \text{ g TS}$  bzw.  $0.06 \pm 0.00 \mu\text{g } \alpha\text{-Carotin}/100 \text{ g TS}$ . Der mittlere  $\beta$ -Carotin Gehalt betrug  $12.54 \pm 0.62 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ , mit einem Schwankungsbereich von 12.00 bis  $13.23 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  (Tabelle 4.12, 4.13).

#### 4.4.7.2 In Frischen Zuckerschoten-Erbsen

Der Lutein-Gehalt bezogen auf die TS lag in ZS-Erbsen im Durchschnitt bei  $2.42 \pm 0.48 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ , wobei sich die Gehalte zwischen 2.08 und  $2.76 \mu\text{g}/100 \text{ g Lutein TS}$  bewegten. Der Zeaxanthin-Gehalt betrug im Mittel  $0.07 \pm 0.02 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ , mit geringstem Gehalt bei  $0.06 \mu\text{g}$  und höchstem bei  $0.09 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ . Der mittlere Gehalt von Cryptoxanthin lag bei  $0.06 \pm 0.04 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ , dessen Spannweite von 0.03 bis  $0.08 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  reichte. Der mittlere  $\alpha$ -Carotin Gehalt betrug  $0.003 \pm 0.00 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ .  $\beta$ -Carotin lag mit einem durchschnittlichen Gehalt von  $0.49 \pm 0.15 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  vor, dessen Streubreite von 0.38 bis  $0.59 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  reichte (Tabelle 4.12, 4.13).

#### 4.4.7.3 In Tiefkühlerbsen

Der in TK-Erbsen festgestellte mittlere Lutein-Gehalt betrug  $4.69 \pm 0.86 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ , mit niedrigstem Gehalt bei 3.07 und höchstem bei  $5.97 \mu\text{g Lutein}/100 \text{ g TS}$ . Der Zeaxanthin-Gehalt lag im Durchschnitt bei  $0.15 \pm 0.05 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ , mit einer Schwankungsbreite von 0.10 bis  $0.26 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ . Die Gehalte von Cryptoxanthin und  $\alpha$ -Carotin lagen im Mittel bei  $0.06 \pm 0.04 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  bzw.  $0.04 \pm 0.03 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ . Die Bandbreite der Gehalte reichte bei Cryptoxanthin von 0.02 bis  $0.15 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  und bei  $\alpha$ -Carotin von 0.01 bis  $0.10 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ . Der mittlere  $\beta$ -Carotin Gehalt betrug  $0.62 \pm 0.17 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ , mit einem Streubereich von 0.21 bis  $0.86 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  (Tabelle 4.12, 4.13).

#### 4.4.7.4 In Dosenerbsen

In Dosenerbsen betrug der Lutein-Gehalt bezogen auf die TS im Durchschnitt  $2.62 \pm 0.75 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ , wobei die Streubreite zwischen  $1.40$  und  $3.93 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  lag. Der mittlere Zeaxanthin Gehalt wies  $0.44 \pm 0.20 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  auf, mit geringstem Gehalt bei  $0.21$  und höchstem bei  $0.72 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ . Der Cryptoxanthin Gehalt betrug im Mittel  $0.16 \pm 0.11 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ , wobei die Gehalte im Bereich von  $0.02$  und  $0.33 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  lagen. Der durchschnittliche Gehalt an  $\alpha$ -Carotin wies  $0.01 \pm 0.01 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  auf. Der  $\beta$ -Carotin Gehalt wurde im Mittel mit  $0.47 \pm 0.19 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  festgestellt, mit einer Schwankungsbreite von  $0.22$  bis  $0.78 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  (Tabelle 4.12, 4.13).

#### 4.4.7.5 In Glaserbsen

Der Lutein Gehalt bezogen auf die TS betrug in Glaserbsen im Mittel  $3.13 \pm 1.03 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ , mit  $2.05$  als niedrigsten und  $4.51 \mu\text{g Lutein}/100 \text{ g TS}$  als höchsten Gehalt. Der durchschnittliche Zeaxanthingehalt lag bei  $0.37 \pm 0.12 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ , mit einer Streubreite von  $0.24$  bis  $0.53 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ . Der Cryptoxanthin und  $\alpha$ -Carotin Gehalt betrug im Durchschnitt  $0.05 \pm 0.05 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  bzw.  $0.03 \pm 0.01 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ . Die Schwankungsbreite lag zwischen  $0.01$  und  $0.11 \mu\text{g Cryptoxanthin}/100 \text{ g TS}$  bzw. zwischen  $0.02$  und  $0.03 \mu\text{g } \alpha\text{-Carotin}/100 \text{ g TS}$ . Der mittlere  $\beta$ -Carotin Gehalt betrug  $0.92 \pm 0.22 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$ , dessen Streubreite von  $0.81$  bis  $1.25 \mu\text{g}/100 \text{ g TS}$  reichte (Tabelle 4.12, 4.13).

Tabelle 4.12: Carotinoid Gehalt (Gesamt und an einzelnen Carotinoiden) bezogen auf die TS der untersuchten Erbsen

	TS [%]	GC [ $\mu\text{g}/100\text{g}$ ] Produkt	GC-Gehalt bezogen auf TS [ $\text{mg}/100\text{g}$ ] MW $\pm$ sd	Minimum	Maximum
Frisch	23.11	28574.62	123.65 $\pm$ 0.00	123.65	123.65
ZS	23.02	696.36	3.04 $\pm$ 0.69	2.55	3.52
TK	23.92	1331.63	5.58 $\pm$ 1.01	3.56	6.94
Dose	24.16	886.37	3.70 $\pm$ 0.92	2.28	5.53
Glas	22.90	1040.68	4.51 $\pm$ 1.13	3.34	5.90
	TS [%]	Lutein [ $\mu\text{g}/100\text{g}$ ] Produkt	Lutein-Gehalt bezogen auf TS [ $\text{mg}/100\text{g}$ ] MW $\pm$ sd	Minimum	Maximum
Frisch	23.11	20032.01	87.26 $\pm$ 2.68	84.92	90.18
ZS	23.02	554.83	2.42 $\pm$ 0.48	2.08	2.76
TK	23.92	1119.85	4.69 $\pm$ 0.86	3.07	5.97
Dose	24.16	625.26	2.62 $\pm$ 0.75	1.40	3.93
Glas	22.90	724.17	3.13 $\pm$ 1.03	2.05	4.51
	TS [%]	ZX [ $\mu\text{g}/100\text{g}$ ] Produkt	ZX-Gehalt bezogen auf TS [ $\text{mg}/100\text{g}$ ] MW $\pm$ sd	Minimum	Maximum
Frisch	23.11	5616.07	23.83 $\pm$ 2.14	21.50	25.70
ZS	23.02	16.81	0.07 $\pm$ 0.02	0.06	0.09
TK	23.92	36.31	0.15 $\pm$ 0.05	0.10	0.26
Dose	24.16	108.60	0.44 $\pm$ 0.20	0.21	0.72
Glas	22.90	87.09	0.37 $\pm$ 0.12	0.24	0.53

TS ... Trockensubstanz

GC ... Gesamtcarotinoide

ZX ... Zeaxanthin

Frisch ... Frische Erbsen (A)

ZS ... Zuckerschoten-Erbsen (B,C)

TK ... Tiefkühlerbsen (D-M)

Dose ... Dosenerbsen (N-U)

Glas ... Glaserbsen (V-Y)



Tabelle 4.13: *Gehalt an einzelnen Carotinoiden bezogen auf die TS der untersuchten Erbsen*

	TS [%]	CX [ $\mu\text{g}/100\text{g}$ ] Produkt	CX-Gehalt bezogen auf TS [ $\text{mg}/100\text{g}$ ] MW $\pm$ sd	Minimum	Maximum
Frisch	23.11	44.65	$0.20 \pm 0.01$	0.18	0.21
ZS	23.02	12.80	$0.06 \pm 0.04$	0.03	0.08
TK	23.92	14.92	$0.06 \pm 0.04$	0.02	0.15
Dose	24.16	36.16	$0.16 \pm 0.11$	0.02	0.33
Glas	22.90	11.90	$0.05 \pm 0.05$	0.01	0.11

	TS [%]	$\alpha$ -Carotin [ $\mu\text{g}/100\text{g}$ ] Produkt	$\alpha$ -Carotin Gehalt bezogen auf TS [ $\text{mg}/100\text{g}$ ] MW $\pm$ sd	Minimum	Maximum
Frisch	23.11	14.26	$0.06 \pm 0.00$	0.06	0.06
ZS	23.02	0.75	$0.003 \pm 0.00$	0.003	0.003
TK	23.92	10.49	$0.04 \pm 0.03$	0.01	0.10
Dose	24.16	3.53	$0.01 \pm 0.01$	0.00	0.02
Glas	22.90	6.08	$0.03 \pm 0.01$	0.02	0.03

	TS [%]	$\beta$ -Carotin [ $\mu\text{g}/100\text{g}$ ] Produkt	$\beta$ -Carotin Gehalt bezogen auf TS [ $\text{mg}/100\text{g}$ ] MW $\pm$ sd	Minimum	Maximum
Frisch	23.11	2867.63	$12.54 \pm 0.62$	12.00	13.23
ZS	23.02	111.18	$0.49 \pm 0.15$	0.38	0.59
TK	23.92	150.07	$0.62 \pm 0.17$	0.21	0.86
Dose	24.16	112.83	$0.47 \pm 0.19$	0.22	0.78
Glas	22.90	211.45	$0.92 \pm 0.22$	0.81	1.25

TS ... Trockensubstanz

CX ... Cryptoxanthin

Frisch ... Frische Erbsen (A)

ZS ... Zuckerschoten-Erbsen (B,C)

TK ... Tiefkühlerbsen (D-M)

Dose ... Dosenerbsen (N-U)

Glas ... Glaserbsen (V-Y)

## 4.5 Sensorische Analyse

### 4.5.1 Quantitative Deskriptive Analyse: Frische Erbsen, Frische Zuckerschoten-Erbsen und Tiefkühlerbsen im Vergleich

Für die Frischen Erbsen aus Österreich, die Frischen Zuckerschoten (ZS)-Erbsen aus Thailand und die Tiefkühlerbsen (TK) der Marke Green Gold wurde anhand der Quantitativen Deskriptiven Analyse (QDA) ein Produktprofil (Abb. 4.30) erstellt. Anhand der Bewertungen dieser drei Produkte wurden mittels ANOVA einige signifikante Unterschiede im Hinblick auf Optik (Abb. 4.26), Geruch (Abb. 4.27), Flavour/Geschmack (Abb. 4.28) und Textur (Abb. 4.29) gefunden.

#### 4.5.1.1 Optik/Aussehen

Die Intensität der grünen Farbe der Frischen Erbsen (5.85 Pkt.) unterschied sich signifikant ( $p < 0.001$ ) von den ZS-Erbsen (3.45 Pkt.) und den TK-Erbsen (8.08 Pkt.). Die signifikanten Unterschiede konnten auch zwischen ZS-Erbsen und TK-Erbsen festgestellt werden. Die Unterschiede in der Gleichmäßigkeit der Farbe waren zwischen den Frischen Erbsen (5.20 Pkt.) und den ZS-Erbsen (4.95 Pkt.) sehr gering. Eine signifikante Differenz ( $p < 0.01$ ) wurde in der Färbung der Tiefkühlerbsen (6.60 Pkt.) im Vergleich mit den Frischen Erbsen und den ZS-Erbsen ( $p < 0.001$ ) beobachtet. Ein höchst signifikanter Unterschied ( $p < 0.001$ ) konnte bezüglich der Größe der untersuchten Erbsen ermittelt werden. Die Frischen Erbsen waren am größten (8.33 Pkt.), gefolgt von den TK-Erbsen (4.50 Pkt.) und den ZS-Erbsen (2.35 Pkt.). Die Gleichmäßigkeit der Größe zeigte zwischen Frischen Erbsen (6.70 Pkt.) und ZS-Erbsen (3.05 Pkt.) sowie zwischen ZS-Erbsen und TK-Erbsen (7.05 Pkt.) signifikante Unterschiede ( $p < 0.001$ ). Die Frischen Erbsen (6.50 Pkt.) und TK-Erbsen (6.78 Pkt.) waren signifikant ( $p < 0.001$ ) runder als die ZS-Erbsen (2.25 Pkt.). Der Glanz der Oberfläche der Frischen Erbsen (3.85 Pkt.) unterschied sich signifikant ( $p < 0.001$ ) von den TK-Erbsen (6.38 Pkt.) (Tabelle 4.14, Abb. 4.26).

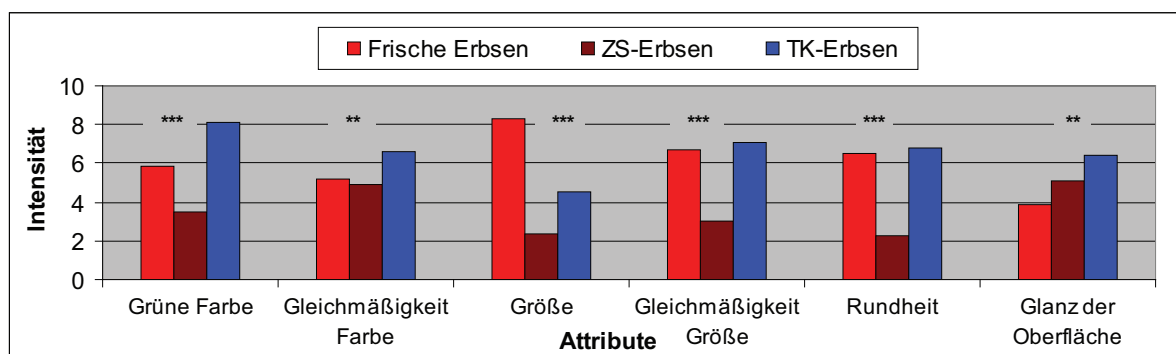


Abbildung 4.26: *Aussehens-Attribute von Frischen Erbsen, ZS-Erbsen und TK-Erbsen im Vergleich.* \* =  $p < 0.05$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \*\*\* =  $p < 0.001$

#### 4.5.1.2 Geruch

Die sehr ähnlichen Bewertungen der Intensität der Geruchsattribute für die Frischen Erbsen und TK-Erbsen zeigten keinerlei signifikante Unterschiede. Jedoch unterschieden sich die ZS-Erbsen signifikant von den beiden. Die Intensität des allgemeinen Geruchs und des Geruchs nach frischer Erbse zeigte signifikante Differenzen ( $p < 0.001$ ) zwischen den Frischen Erbsen (7.28 und 6.48 Pkt.) und den ZS-Erbsen (5.15 und 3.28 Pkt.) sowie zwischen den ZS-Erbsen und den TK-Erbsen (7.45 und 7.30 Pkt.). Die Bewertungen des süßlichen Geruchs unterschieden sich sowohl zwischen den Frischen Erbsen (5.33 Pkt.) und den ZS-Erbsen (3.53 Pkt.) signifikant ( $p < 0.05$ ), als auch zwischen den ZS-Erbsen und den TK-Erbsen (5.70 Pkt.) ( $p < 0.01$ ). Der erdige Geruch der ZS-Erbsen (3.48 Pkt.) war signifikant stärker ausgeprägt sowohl im Vergleich zu den Frischen Erbsen (1.60 Pkt.) ( $p < 0.01$ ) als auch zu den TK-Erbsen (1.20 Pkt.) ( $p < 0.001$ ). In der Intensität des grasigen Geruchs konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden (Frische Erbsen: 2.85 Pkt.; ZS: 3.80 Pkt.; TK: 2.80 Pkt.) (Tabelle 4.14, Abb. 4.27).

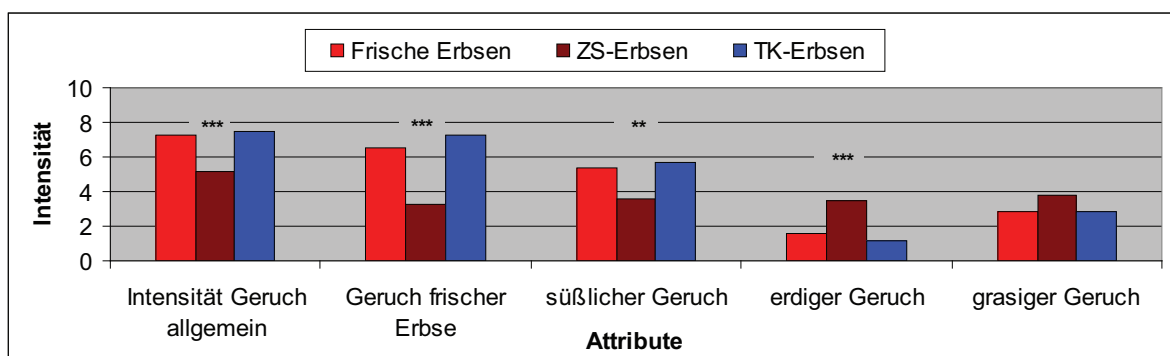


Abbildung 4.27: Geruchs-Attribute von Frischen Erbsen, ZS-Erbsen und TK-Erbsen im Vergleich. \* =  $p < 0.05$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \*\*\* =  $p < 0.001$

#### 4.5.1.3 Geschmack/Flavour

Die allgemeine Intensität des Flavours der Frischen Erbsen (6.68 Pkt.) und der TK-Erbsen (6.63) wurde fast gleich beurteilt. Ein signifikanter ( $p < 0.05$ ) Unterschied zeigte sich jedoch zwischen den Frischen Erbsen und den ZS-Erbsen (5.15 Pkt.) und zwischen den ZS-Erbsen und den TK-Erbsen. Erbsenflavour wurde bei den TK-Erbsen (6.88 Pkt.) am intensivsten wahrgenommen, wobei die Frischen Erbsen (6.78 Pkt.) ähnlich hoch bewertet wurden. Die niedrige Bewertung des Erbsenflavour der ZS-Erbsen (3.65 Pkt.) führte zu einem signifikanten Unterschied ( $p < 0.001$ ) im Vergleich zu den beiden anderen Produkten. Der süße Geschmack der Frischen Erbsen (3.25 Pkt.) zeigte im Vergleich mit den ZS-Erbsen (2.25 Pkt.) keine Signifikanzen, im Vergleich mit den TK-Erbsen (5.98 Pkt.) war jedoch ein signifikanter Unterschied ( $p < 0.001$ ) zu sehen. Ebenso signifikant ( $p < 0.001$ ) unterschieden sich die ZS-Erbsen von den TK-Erbsen im süßen Geschmack. Der bittere Geschmack der Frischen Erbsen (2.68 Pkt.) und der ZS-Erbsen

(3.18 Pkt.) wurde ähnlich empfunden. Zwischen den Frischen Erbsen und den TK-Erbsen (1.38 Pkt.) ( $p < 0.05$ ) sowie zwischen ZS-Erbsen und TK-Erbsen ( $p < 0.01$ ) konnte in Bezug auf Bitterkeit eine signifikante Differenz ermittelt werden. Die ZS-Erbsen (3.35 Pkt.) zeigten den intensivsten erdigen Flavour, der sich signifikant ( $p < 0.05$ ) von den Frischen Erbsen (1.60 Pkt.) und von den TK-Erbsen (0.75 Pkt.) ( $p < 0.001$ ) unterschied. In der Intensität des grasigen-Flavours konnte keine Signifikanz beobachtet werden (Frische Erbsen: 2.35 Pkt.; ZS: 3.25 Pkt.; TK: 2.25 Pkt.). Der Stärke-Flavour der Frischen Erbsen (5.73 Pkt.) wurde am höchsten bewertet und zeigte sowohl im Vergleich mit den ZS-Erbsen (2.75 Pkt.) als auch im Vergleich mit den TK-Erbsen (2.35 Pkt.) signifikante Unterschiede ( $p < 0.001$ ) (Tabelle 4.14, Abb. 4.28).

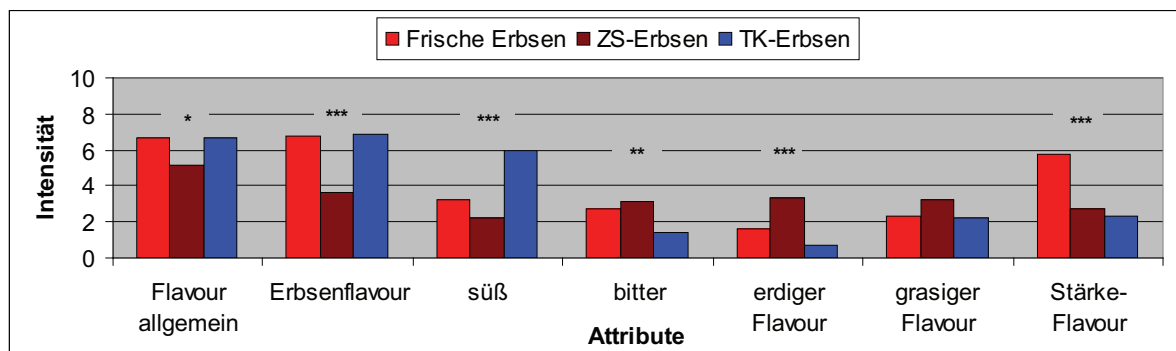


Abbildung 4.28: Flavour- und Geschmacksattribute von Frischen Erbsen, ZS-Erbsen und TK-Erbsen im Vergleich. \* =  $p < 0.05$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \*\*\* =  $p < 0.001$

#### 4.5.1.4 Textur/Mundgefühl

Die Glätte der Oberfläche der Frischen Erbsen (4.78 Pkt.) und der ZS-Erbsen (4.30 Pkt.) war ähnlich und zeigte keine signifikanten Unterschiede. Da die TK-Erbsen (7.25 Pkt.) als Erbsen mit der glattesten Oberfläche beurteilt wurden, unterschieden sie sich signifikant ( $p < 0.001$ ) zu den Frischen Erbsen und auch den ZS-Erbsen. Obwohl die Frischen Erbsen (6.15 Pkt.) am knackigsten waren konnten keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zu den ZS-Erbsen (5.30 Pkt.) oder den TK-Erbsen (5.13 Pkt.) festgestellt werden. Die Saftigkeit der Frischen Erbsen (3.43 Pkt.) und ZS-Erbsen (3.93 Pkt.) wurde am niedrigsten bewertet, wodurch die Unterschiede nicht signifikant waren. Die TK-Erbsen (7.15 Pkt.) waren sowohl im Vergleich mit den Frischen Erbsen als auch im Vergleich mit den ZS-Erbsen signifikant ( $p < 0.001$ ) saftiger. Die Festigkeit war bei den Frischen Erbsen (6.58 Pkt.) am höchsten ausgeprägt, unterschied sich jedoch nicht signifikant von der Festigkeit der ZS-Erbsen (5.65 Pkt.), war aber im Vergleich zu den TK-Erbsen (3.93 Pkt.) signifikant ( $p < 0.001$ ) größer. Die TK-Erbsen waren auch im Vergleich zu den ZS-Erbsen signifikant ( $p < 0.01$ ) weniger fest. Die Frischen Erbsen mit der niedrigsten Saftigkeit zeigten die höchste Mehligkeit (6.58 Pkt.), die im Vergleich zu den ZS-Erbsen (3.08 Pkt.) und den TK-Erbsen (2.28 Pkt.) signifikant ( $p < 0.001$ ) größer war. Die Zähigkeit der Frischen Erbsen (3.65 Pkt.) unterschied sich signifikant ( $p < 0.05$ )

von den ZS-Erbse (2.40 Pkt.). Im Vergleich mit den TK-Erbse (1.80 Pkt.) waren die Frischen Erbsen auch signifikant ( $p < 0.001$ ) zäher. Die Haut der Frischen Erbsen (5.18 Pkt.) war im Vergleich zu den ZS-Erbse (3.78 Pkt.) ( $p < 0.01$ ) und den TK-Erbse (2.75 Pkt.) ( $p < 0.001$ ) signifikant dicker. Die ZS-Erbse zeigten auch im Vergleich zu den TK-Erbse signifikant ( $p < 0.05$ ) dickere Haut (Tabelle 4.14, Abb. 4.29, Abb. 4.30).

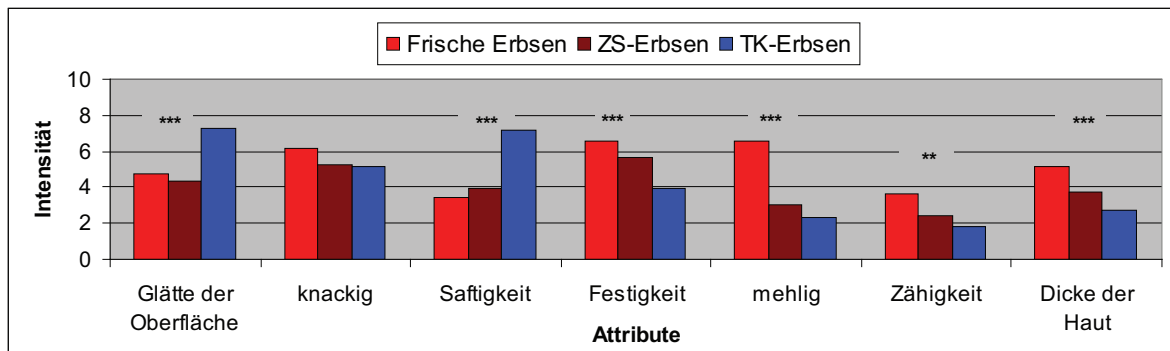


Abbildung 4.29: *Textur-Attribute von Frischen Erbsen, ZS-Erbse und TK-Erbse im Vergleich.* \* =  $p < 0.05$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \*\*\* =  $p < 0.001$

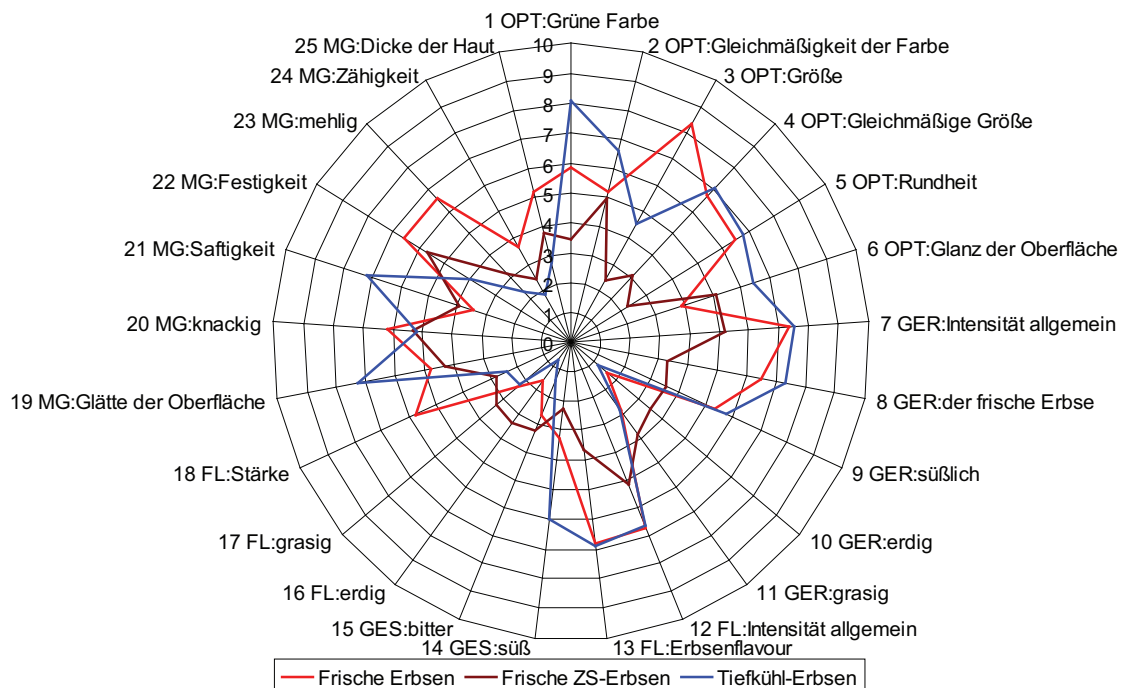


Abbildung 4.30: *Produktprofil der Frischen Erbsen, der ZS-Erbse und der TK-Erbse.* OPT = Optik, GER = Geruch, FL = Flavour, GES = Geschmack, MG = Mundgefühl/Textur.

### 4.5.2 Quantitative Deskriptive Analyse: Dosen- und Glaserbsen im Vergleich

Die Erstellung eines Produktprofils (Abb. 4.35) anhand der Quantitativen Deskriptiven Analyse (QDA) erfolgte auch für die Dosenerbsen der Marke d'aucy und der Glaserbsen der Marke Bio Nova. Die Beurteilungen dieser zwei Produkte wurde mittels t-Test ausgewertet, um diese auf signifikante Unterschiede im Hinblick auf Optik (Abb. 4.31), Geruch (Abb. 4.32), Flavour/Geschmack (Abb. 4.33) und Textur (Abb. 4.34) zu prüfen.

#### 4.5.2.1 Optik/Aussehen

Von sechs Aussehens-Attributen wurden vier in Dosenerbsen intensiver bewertet als in Glaserbsen. Die charakteristische Grüne Farbe war bei den Glaserbsen (5.50 Pkt.) stärker ausgeprägt als bei den Dosenerbsen (4.73 Pkt.), aber nicht signifikant. Die Gleichmäßigkeit der Farbe wurde bei den Glaserbsen (6.90 Pkt.) signifikant ( $p < 0.01$ ) höher bewertet als bei den Dosenerbsen (5.10 Pkt.). Die Größe der Dosenerbsen (5.68 Pkt.) unterschied sich signifikant ( $p < 0.001$ ) von den Glaserbsen (4.08 Pkt.). Die Attribute Gleichmäßige Größe, Rundheit und Glanz der Oberfläche wurden bei den Dosenerbsen jeweils etwas höher beurteilt als bei den Glaserbsen (7.00 Pkt., 6.53 Pkt., 6.55 Pkt. bzw. 5.95 Pkt., 6.23 Pkt., 6.10 Pkt.) zeigten aber keine Signifikanzen (Tabelle 4.14, Abb. 4.31).

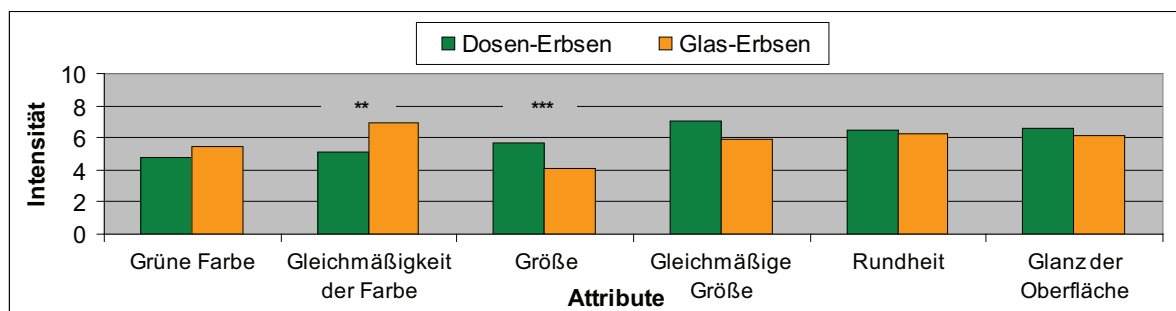


Abbildung 4.31: Aussehens-Attribute von Dosenerbsen und Glaserbsen im Vergleich.

\* =  $p < 0.05$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \*\*\* =  $p < 0.001$

#### 4.5.2.2 Geruch

Obwohl die Bewertung der Intensität des allgemeinen Geruchs für Dosenerbsen (6.85 Pkt.) und Glaserbsen (7.00 Pkt.) fast gleich war, wurde der Geruch nach frischer Erbse bei den Dosenerbsen (6.03 Pkt.) intensiver wahrgenommen als bei den Glaserbsen (4.80 Pkt.), allerdings war der Unterschied nicht signifikant. Der süßliche Geruch war bei den Dosenerbsen (5.60 Pkt.) mehr ausgeprägt als bei den Glaserbsen (4.93 Pkt.). Die Beurteilung des grasigen Geruchs lieferte bei den Dosenerbsen und den Glaserbsen annähernd gleiche Bewertungen (2.38 Pkt. bzw. 2.30 Pkt.). Der einzige signifikante Unterschied ( $p < 0.05$ ) konnte beim erdigen Geruch der Glaserbsen (3.38 Pkt.) im Vergleich zu den Dosenerbsen (1.90 Pkt.) beobachtet werden (Tabelle 4.14, Abb. 4.32).

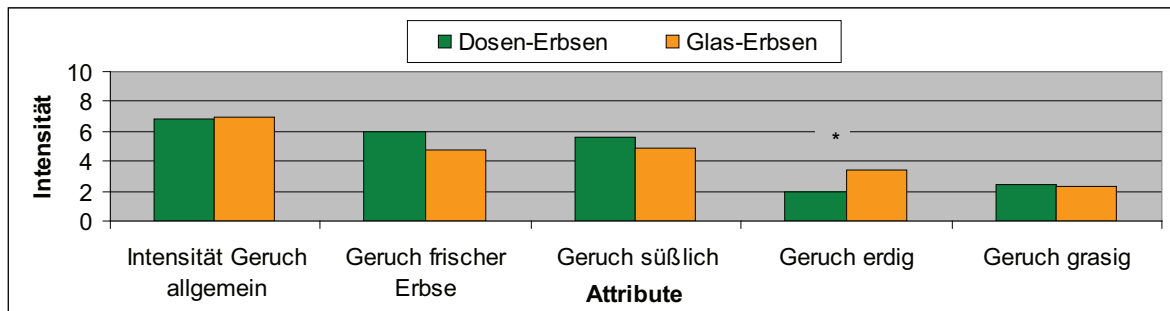


Abbildung 4.32: Geruchs-Attribute von Dosenerbsen und Glaserbsen im Vergleich.

\* =  $p < 0.05$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \*\*\* =  $p < 0.001$

#### 4.5.2.3 Geschmack/Flavour

Die Intensität des allgemeinen Flavours war in Dosenerbsen (6.40 Pkt.) höher als in Glaserbsen (5.30 Pkt.), jedoch zeigte sich keine Signifikanz. Erbsenflavour und süßer Geschmack wurden in Dosenerbsen (6.23 Pkt. und 6.18 Pkt.) signifikant ( $p < 0.001$ ) intensiver wahrgenommen als in Glaserbsen (3.85 Pkt. und 2.95 Pkt.). Im Gegensatz dazu zeigten Glaserbsen (2.80 Pkt.) signifikant ( $p < 0.001$ ) stärker ausgeprägten bitteren Geschmack als Dosenerbsen (0.73 Pkt.). Der erdige und grasige Flavour wurde bei den Glaserbsen (3.33 Pkt. und 2.30 Pkt.) intensiver empfunden als bei den Dosenerbsen (1.35 Pkt. und 1.50 Pkt.), wodurch der Unterschied des erdigen Flavour signifikant ( $p < 0.01$ ) war. Bei Stärke-Flavour konnte zwischen Dosenerbsen (4.88 Pkt.) und Glaserbsen (3.75 Pkt.) keine Signifikanz festgestellt werden (Tabelle 4.14, Abb. 4.33).

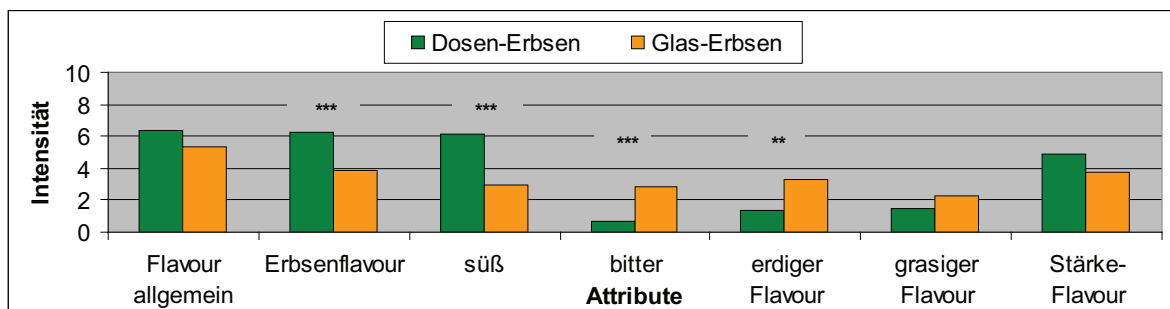


Abbildung 4.33: Flavour- und Geschmacksattribute von Dosenerbsen und Glaserbsen im Vergleich. \* =  $p < 0.05$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \*\*\* =  $p < 0.001$

#### 4.5.2.4 Textur/Mundgefühl

Die Oberfläche der Erbsen wurde sowohl bei den Dosenerbsen (7.18 Pkt.) als auch bei den Glaserbsen (7.20 Pkt.) als sehr glatt bewertet. Die Glaserbsen (3.48 Pkt.) wurden als signifikant ( $p < 0.01$ ) knackiger als die Dosenerbsen (1.68 Pkt.) beurteilt. Ebenso wurden

#### 4. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Saftigkeit und Festigkeit der Glaserbsen (5.10 Pkt. und 3.80 Pkt.) höher bewertet als die der Dosenerbsen (3.83 Pkt. und 2.83 Pkt.), dennoch waren die Unterschiede nicht signifikant. Die geringer empfundene Saftigkeit der Dosenerbsen spiegelte sich in der signifikant ( $p < 0.05$ ) höheren Mehligkeit (7.10 Pkt.) im Vergleich zu den Glaserbsen (5.13 Pkt.) wieder. Die Zähigkeit und die Dicke der Haut der Glaserbsen (2.73 Pkt. und 4.18 Pkt.) wurden höher beurteilt als die der Dosenerbsen (1.85 Pkt. und 2.28 Pkt.), wobei die Zähigkeit keine Signifikanz aufwies, die Dicke der Haut jedoch einen signifikanten Unterschied ( $p < 0.001$ ) zeigte (Tabelle 4.14, Abb. 4.34, Abb. 4.35).

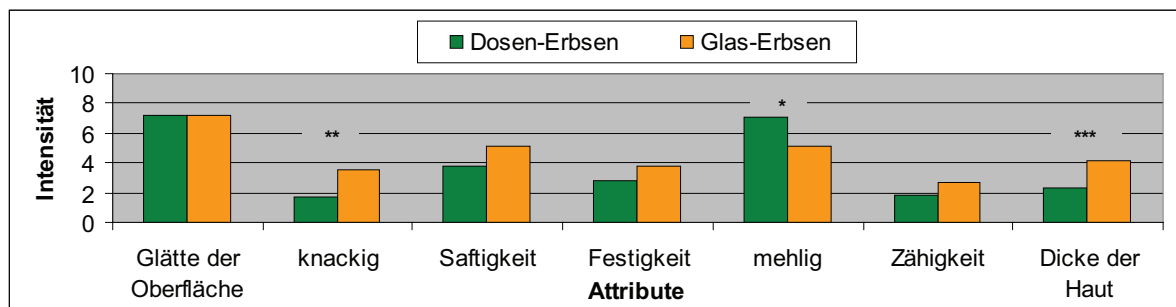


Abbildung 4.34: *Textur-Attribute von Dosenerbsen und Glaserbsen im Vergleich.*

\* =  $p < 0.05$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \*\*\* =  $p < 0.001$

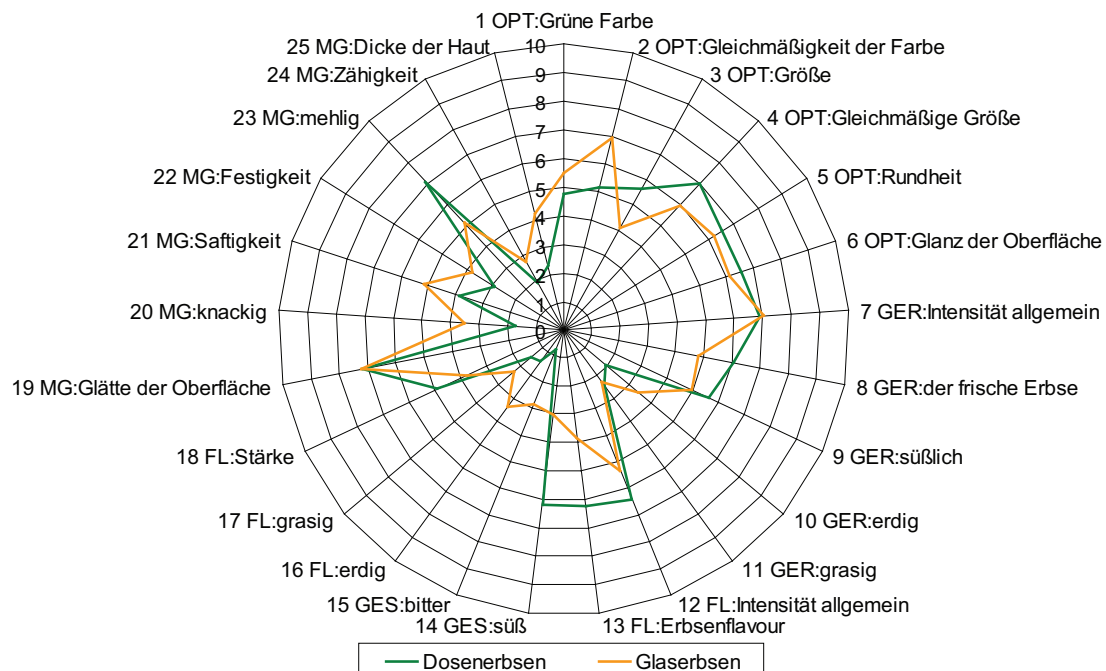


Abbildung 4.35: *Produktprofil der Dosenerbsen und Glaserbsen. OPT = Optik, GER = Geruch, FL = Flavour, GES = Geschmack, MG = Mundgefühl/Textur.*



Tabelle 4.14: *Signifikante Unterschiede der Intensität der Sensorischen Attribute*

	Attribute	F/ZS	F/TK	ZS/TK	Dose/Glas
Optik/ Aussehen	Grüne Farbe	***	***	***	—
	Gleichmäßige Farbe	—	**	***	**
	Größe	***	***	***	***
	Gleichmäßige Größe	***	—	***	—
	Rundheit	***	—	***	—
	Glanz d. Oberfläche	—	***	—	—
Geruch	Intensität allg.	***	—	***	—
	Nach frischer Erbse	***	—	***	—
	süßlich	*	—	**	—
	erdig	**	—	***	*
	grasig	—	—	—	—
Geschmack/ Flavour	Intensität allg.	*	—	*	—
	Erbsenflavour	***	—	***	***
	süß	—	***	***	***
	bitter	—	*	**	***
	erdiger Flavour	*	—	***	**
	grasiger Flavour	—	—	—	—
Textur/ Mundgefühl	Stärke-Flavour	***	***	—	—
	Glätte d. Oberfläche	—	***	***	—
	knackig	—	—	—	**
	Saftigkeit	—	***	***	—
	Festigkeit	—	***	**	—
	mehlig	***	***	—	*
	Zähigkeit	*	***	—	—
	Dicke der Haut	**	***	*	***
<b>F</b> ... Frische Erbsen		* ... signifikant ( $p < 0.05$ )			
<b>ZS</b> ... Zuckerschoten-Erbsen		** ... hoch signifikant ( $p < 0.01$ )			
<b>TK</b> ... Tiefkühlerbsen		*** ... höchst signifikant ( $p < 0.001$ )			
<b>Dose</b> ... Dosenerbsen		— ... nicht signifikant			
<b>Glas</b> ... Glaserbsen					

### 4.5.3 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse der sensorischen Analyse

Um die Ergebnisse der sensorischen Analyse aller Erbsenprodukte zusammenzufassen und übersichtlich darzustellen, wurden die fünf Produktprofile in einem Spiderweb (Abb. 4.40) zusammengefügt. Die einzelnen Attribute bezüglich Optik (Abb. 4.36), Geruch (Abb. 4.37), Flavour/Geschmack (Abb. 4.38) und Textur (Abb. 4.39) wurden ebenfalls in jeweiligen Grafiken gegenübergestellt.

#### 4.5.3.1 Optik/Aussehen

In Abb. 4.36 ist deutlich erkennbar, dass die charakteristische grüne Farbe von Erbsen am intensivsten bei den TK-Erbsen ausgeprägt war. Für die grüne Farbe, die eines der wichtigsten Qualitätsattribute von Gemüseprodukten darstellt, ist Chlorophyll verantwortlich, welches während dem Bearbeiten besonders anfällig für einen Abbau ist, wodurch es zu einer Farbänderung kommen kann. Die größten chemischen Abbaupfade stehen in Zusammenhang mit der Umwandlung von Chlorophyll in Phäophytin, Epimerisation und Pyrolyse sowie Hydroxylierung, Oxidation oder Photo-Oxidation, wenn Licht einbezogen wird. Als Hauptursache der Farbveränderung in grünem Gemüse während dem (industriellen) Bearbeiten gilt die Umformung von Chlorophyll in Phäophytin, die vom pH-Wert bedingt ist. Die Umwandlung von der grünen Farbe in ein dunkleres und satteres Grün in den TK-Erbsen, ist einerseits auf den Blanchiervorgang zurückzuführen, bei dem es zur teilweisen Umwandlung von Chlorophyll in Phäophytin kommen kann. Weiters werden beim Blanchieren Luftbläschen aus der Oberfläche und zwischen den Zellen entfernt, wodurch es zu veränderten Reflexionseigenschaften kommt und ein leuchtend grünes Aussehen hervorgerufen wird. Andererseits wird beim anschließenden Tiefgefrierprozess die grüne Farbe besser erhalten. Die grüne Farbe der Frischen Erbsen war auch stark ausgeprägt, da diese vor der Verkostung, wie die ZS- und TK-Erbsen auch, nur in Wasser kurz (7–10 Minuten) gekocht wurden.

Der pH-Wert des Wassers (pH=7) sorgt dafür, dass es weniger leicht zu einer Farbänderung von Chlorophyll zu Phäophytin kommt. Karadeniz et al. [2006] untersuchten die Auswirkungen des pH-Wertes (5.5, 6.5 und 7.5) auf den Chlorophyll-Abbau und den Farbverlust in blanchierten grünen Erbsen und stellten fest, dass die Farbminde- rung mit zunehmendem pH-Wert abnimmt, was darauf hinweist, dass die grüne Farbe bei höheren pH-Werten erhalten bleibt. Gleichzeitig beobachteten sie, dass der höhere pH-Wert (pH=7.5) die Geschwindigkeit der Farbveränderung bei 70 und 80°C nicht änderte. Demzufolge beschleunigen viel höhere Temperaturen den Farbverlust bei höheren pH-Werten [Karadeniz et al., 2006]. Keine signifikanten Farbveränderungen wurden zwischen pH=7 und pH=8 beobachtet [Gunawan und Barringer, 2000]. Bei den Dosen- und Glaskonserven wird zwar ein Blanchiervorgang angewandt, doch verwandelt sich durch die nachfolgende Hitzebehandlung das leuchtende Chlorophyll-Grün schneller in Olivgrünes Phäophytin. Denn neben dem Erhitzungsprozess spielt auch der pH-Wert der Aufgussflüssigkeit eine Rolle. Farbänderungen erfolgen besonders leicht beim Erhitzen

in schwach saurer Lösung [Belitz et al., 2007]. Die Aufgussflüssigkeit der Dosen- und Glaskonserven zeigte pH-Werte zwischen 5.96 bis 6.21.

Die weniger intensive grüne Farbe der ZS-ErbSEN ist darauf zurückzuführen, dass diese Erbsen zum einen noch unreif waren, da Zuckerschoten unreif geerntet und verkauft werden. Und zum anderen, dass der Chlorophyllgehalt durch den Kochvorgang deutlich reduziert wurde, da die ursprüngliche Farbe der ZS-ErbSEN im Vergleich zu den Frischen Erbsen um einiges heller war. Wie Brewer und Begum [2001] in ihrer Untersuchung festgestellt haben, waren in Wasser blanchierte Zuckerschoten-ErbSEN, im Vergleich zu anderen Blanchiervorgängen (Dampf und Mikrowelle) am wenigsten „grün“, da Chlorophyll abgebaut und ins Kochwasser ausgewaschen wurde.

Die Gleichmäßigkeit der Farbe wurde bei den Frischen Erbsen, den ZS-ErbSEN und den Dosenerbsen mit annähernd 5 Punkten beurteilt, lediglich die TK-ErbSEN und Glaserbsen wurden als einheitlicher gefärbt (6.60 Pkt. und 6.90 Pkt.) bewertet.

Die Frischen Erbsen waren die größten unter den fünf untersuchten Erbsenprodukten (8.33 Pkt.). Dies lässt sich dadurch erklären, dass die verarbeiteten Erbsen wie z.B. TK-, Dosen- und Glaserbsen, vor dem Konservierungsprozess mittels Maschinen sortiert werden, während die Frischen Erbsen unsortiert bleiben. Die Größe der TK- und Glaserbsen wurde recht ähnlich (4.50 Pkt., 4.08 Pkt.), die Dosenerbsen jedoch als größer (5.68 Pkt.) beurteilt. Die untersuchten TK- und Dosenerbsen trugen die Bezeichnung „sehr fein“, was einer Sortierung zweiter Klasse entspricht. Je feiner die Klasse, desto kleiner die Erbse im Durchmesser [Massholder, 2009]. Die Glaserbsen mit der Bezeichnung „fein“ sollten folglich in der Sortierung größer sein, wurden aber im Durchschnitt als kleiner bewertet. Hingegen waren die ZS-ErbSEN am kleinsten (2.35 Pkt.), was durch die Unreife der Samen erklärbar ist. Ebenso ist die geringe Gleichmäßigkeit der Größe (3.05 Pkt.) dieser Erbsen darauf zurückzuführen, dass sich die jungen, unreifen Samen sehr unterschiedlich in den Hülsen entwickelt haben und dadurch in verschiedenen Formen und Größen vorgefunden wurden. Die gleichmäßige Größe der industriell hergestellten Erbsenprodukte ist wieder durch die maschinelle Sortierung bedingt. Auch wenn die Frischen Erbsen nicht größenmäßig sortiert wurden, so waren sie, den Beurteilungen zufolge, ebenfalls recht gleichmäßig groß.

Die Rundheit der Frischen Erbsen sowie der TK-, Dosen- und Glaserbsen wurde ähnlich bewertet (6.50 Pkt., 6.78 Pkt., 6.53 Pkt. und 6.23 Pkt.). Nur die ZS-ErbSEN (2.25 Pkt.) wurden bis zu 33% weniger rund als die anderen Produkte beurteilt. Grund dafür sind die unterschiedlichen Formen dieser Sorte, die von rund bis oval und erbsenähnlich bis flach reichten.

Der Glanz der Oberfläche wurde bei den Dosenerbsen am intensivsten (6.55 Pkt.) bewertet, doch liegen die TK-ErbSEN (6.38 Pkt.) und die Glaserbsen (6.10 Pkt.) nur knapp dahinter. Der Grund für die glänzende Oberfläche dieser drei Erbsenprodukte, im Unterschied zu den Frischen Erbsen (3.85 Pkt.) und ZS-ErbSEN (5.10 Pkt.), liegt wahrscheinlich im herstellungsbedingten Blanchierprozess.

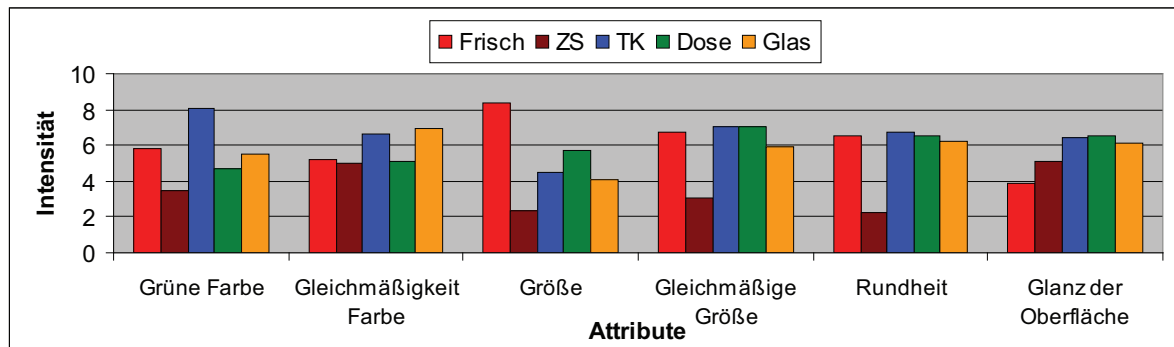


Abbildung 4.36: *Aussehens-Attribute der 5 untersuchten Erbsenprodukte im Vergleich*

#### 4.5.3.2 Geruch

Die allgemeine Intensität des Geruchs war zwischen den Frischen Erbsen, TK-Erbsen, Dosen- und Glaserbsen recht ausgeglichen (7.28 Pkt., 7.45 Pkt., 6.85 Pkt., 7.00 Pkt.). Die ZS-Erbsen wurden deutlich niedriger bewertet (5.15 Pkt.). Überraschend war, dass der Geruch nach frischer Erbse in TK-Erbsen (7.30 Pkt.) am stärksten ausgeprägt war. Die Frischen Erbsen (6.48 Pkt.) wurden deutlich niedriger bewertet. Bei den Sterilkonserven wurde dieses Attribut noch weniger intensiv (Dosenerbsen 6.03 Pkt., Glaserbsen 4.80 Pkt.), und bei den ZS-Erbsen am geringsten (3.28 Pkt.) wahrgenommen. Die Intensität eines süßlichen Geruchs wurde bei den TK- und Dosenerbsen am höchsten bewertet (5.70 Pkt. bzw. 5.60 Pkt.), gefolgt von den Frischen Erbsen (5.33 Pkt.) und den Glaserbsen (4.93 Pkt.). Bei den ZS-Erbsen wurde diese Eigenschaft merklich weniger intensiv (3.53 Pkt.) wahrgenommen. Im Gegensatz dazu waren die Attribute erdiger und grasiger Geruch am stärksten bei den ZS-Erbsen (3.48 Pkt. und 3.80 Pkt.) ausgeprägt. Der erdige Geruch wurde auch bei den Glaserbsen stärker empfunden (3.38 Pkt.) als bei den Dosenerbsen, Frischen Erbsen und TK-Erbsen (1.90 Pkt., 1.60 Pkt., 1.20 Pkt.). Keine großen Unterschiede waren in den Beurteilungen des grasigen Geruchs von Frischen Erbsen und TK-Erbsen (2.85 Pkt. und 2.80 Pkt.) sowie zwischen Dosen- und Glaserbsen (2.38 Pkt. und 2.30 Pkt.) zu finden (Abb. 4.37).

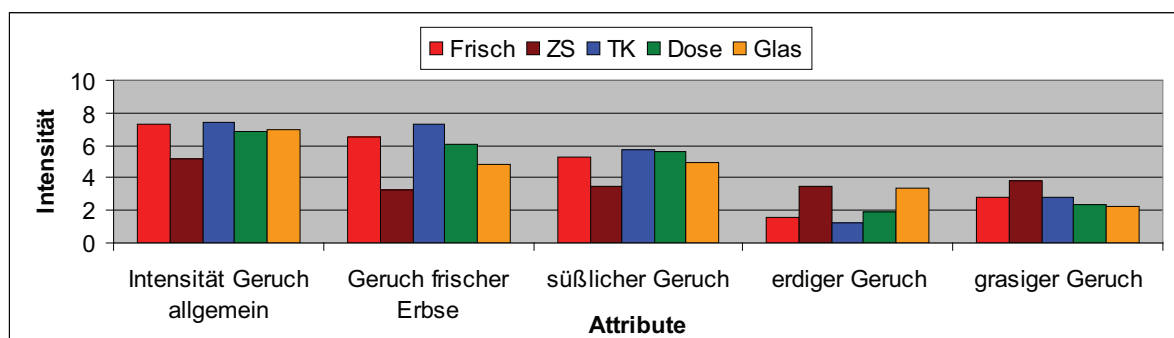


Abbildung 4.37: *Geruchs-Attribute der 5 untersuchten Erbsenprodukte im Vergleich*

### 4.5.3.3 Geschmack/Flavour

Die Intensität des allgemeinen Flavours wurde bei den Frischen Erbsen (6.68 Pkt.), TK-Erbsen (6.63 Pkt.) und Dosenerbsen (6.40 Pkt.) ähnlich hoch bewertet, bei den Glas- und ZS-Erbsen war diese Eigenschaft weniger ausgeprägt (5.30 Pkt. und 5.15 Pkt.).

Erbsenflavour wurde bei den Glas- und ZS-Erbsen (3.85 Pkt. und 3.65 Pkt.) relativ gleich bewertet, aber wieder niedriger als bei den übrigen Produkten. Die TK-Erbsen (6.88 Pkt.) zeigten die höchste Intensität des Erbsenflavours, gefolgt von den Frischen Erbsen (6.78 Pkt.) und den Dosenerbsen (6.23 Pkt.).

Der süße Geschmack wurde bei den Dosen- und TK-Erbsen am intensivsten (6.18 Pkt. und 5.98 Pkt.) und gleichzeitig der bittere Geschmack am geringsten (0.73 Pkt. und 1.38 Pkt.) wahrgenommen. Bei den Frischen Erbsen und den Glaserbsen wurden keine sehr großen Unterschiede zwischen dem süßen (3.25 Pkt. und 2.95 Pkt.) und dem bitteren Geschmack (2.68 Pkt. und 2.80 Pkt.) beobachtet. Die unterschiedlichen Bewertungen der Dosen- und Glaserbsen hinsichtlich des süßen Geschmacks können eventuell auf die Zutaten zurückgeführt werden: Die Aufgussflüssigkeit der Dosenerbsen bestand aus Wasser, Zucker, Salz und natürlichem Aroma, während die Aufgussflüssigkeit der Glaserbsen nur Wasser und Meersalz enthielt. Ein deutlicher Unterschied im süßen und bitteren Geschmack im Vergleich zu den anderen untersuchten Erbsenprodukten wurde bei den ZS-Erbsen ermittelt. Diese waren am wenigsten süß (2.25 Pkt.) und mehr bitter (3.18 Pkt.) als die übrigen Produkte, was durch den unreifen Zustand und geringeren Zuckergehalt zu erklären ist.

Die Ausprägung eines erdigen Flavours war bei den ZS-Erbsen und Glaserbsen ähnlich und am stärksten ausgeprägt (3.35 Pkt. und 3.33 Pkt.). Im Gegensatz dazu wurde dieses Attribut weniger intensiv bei den Frischen Erbsen (1.60 Pkt.), den Dosenerbsen (1.35 Pkt.) und den TK-Erbsen (0.75 Pkt.) wahrgenommen.

Ein grasiger Flavour war bei den Dosenerbsen am wenigsten ausgeprägt, gefolgt von den TK-, Glas- und Frischen Erbsen und den ZS-Erbsen (1.50 Pkt., 2.25 Pkt., 2.30 Pkt., 2.35 Pkt., 3.25 Pkt.).

Der Stärke-Flavour wurde in Frischen Erbsen (5.73 Pkt.) und Dosenerbsen (4.88 Pkt.) am intensivsten wahrgenommen, gefolgt von den Glaserbsen (3.75 Pkt.). Die Intensität dieser Eigenschaft war in ZS-Erbsen (2.75 Pkt.) und den TK-Erbsen (2.35 Pkt.) weniger ausgeprägt. Für alle Produkte, bis auf die Dosenerbsen, galt: je weniger intensiv der süße Geschmack war, desto höher wurde der Stärke-Flavour wahrgenommen. Die Dosenerbsen wiesen einerseits einen hohen süßen Geschmack, der auf den in der Aufgussflüssigkeit enthaltenen Zucker zurückgeführt werden kann und andererseits einen intensiven Stärke-Flavour auf. Die hohen Bewertungen des Stärke-Flavours der Dosen- aber auch der Glaserbsen lassen sich auf die durch den Sterilisationsprozess verursachten Veränderungen der Kohlenhydrate herleiten. Der stark ausgeprägte süße Geschmack und weniger intensive Stärke-Flavour der TK-Erbsen lässt auf einen hohen Zuckergehalt und einen geringen Stärkegehalt schließen. Des weiteren ist es auch ein Indiz dafür, dass diese Erbsen rasch zu TK-Erbsen verarbeitet wurden, da sich bei längeren Lagerzeiten der enthaltene Zucker in Stärke umwandeln würde. Bei den Frischen Erbsen wurde der Stärke-Flavour am intensivsten und der süße Geschmack weniger intensiv empfunden.

Bei den ZS-ErbSEN wurden der süße Geschmack und der Stärke-Flavour annähernd gleich beurteilt (Abb. 4.38).

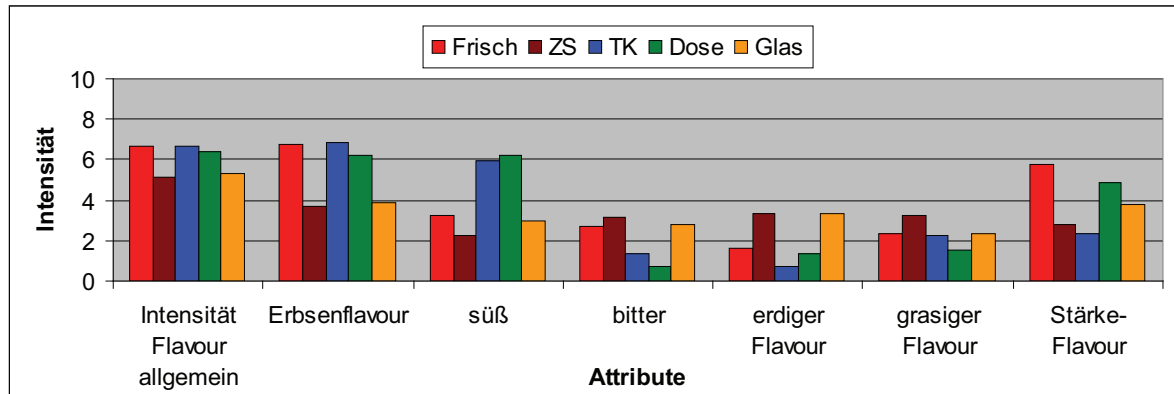


Abbildung 4.38: Flavour- und Geschmacksattribute der 5 untersuchten Erbsenprodukte im Vergleich

### 4.5.3.4 Textur/Mundgefühl

Die Oberfläche der TK-, Dosen- und Glaserbsen (7.25 Pkt., 7.18 Pkt. und 7.20 Pkt.) wurde von den Panellisten als gleich glatt bewertet, was eventuell auf die Sortierung und den Blanchierprozess zurückgeführt werden könnte. Die Frischen Erbsen und ZS-Erbsen (4.78 Pkt. und 4.30 Pkt.) zeigten weniger glatte Oberflächen.

Die Frischen Erbsen (6.15 Pkt.) wurden als sehr knackig bewertet. Etwas niedriger waren die Bewertungen der ZS- und TK-Erbsen (5.30 Pkt. und 5.13 Pkt.). Das bedeutet, dass Tiefgefrieren eine gute Methode ist, um die Knackigkeit von Frischen Erbsen zu erhalten. Die Glas- und vor allem die Dosenerbsen waren wesentlich weniger knackig (3.48 Pkt. und 1.68 Pkt.), was durch den Sterilisationsprozess, bei dem die pflanzliche Gewebestruktur verändert und das Gemüse weicher wird, zu erklären ist. Da die Dosenerbsen („sehr fein“) um eine Sortierung kleiner waren als die Glaserbsen („fein“), wirkte sich die Erhitzung stärker auf die Textur der kleineren Erbsen aus.

Bei Betrachtung der Abbildung 4.39 ist erkennbar, dass es einen Zusammenhang zwischen den Attributen Saftigkeit und Mehligkeit gab: Die Saftigkeit der TK-Erbsen (7.15 Pkt.) wurde mit Abstand am intensivsten wahrgenommen, gleichzeitig wurde die Mehligkeit (2.28 Pkt.) am niedrigsten bewertet. Die Frischen Erbsen (3.43 Pkt.) und Dosenerbsen (3.83 Pkt.) wurden als gering saftig beurteilt, während die Mehligkeit der beiden Erbsenprodukte (6.58 Pkt. bzw. 7.10 Pkt.) am stärksten ausgeprägt war. Die ZS-Erbsen wurden als wenig saftig (3.93 Pkt.) und wenig mehlig (3.08 Pkt.) im Vergleich zu den anderen untersuchten Erbsenprodukten beurteilt. Bei den Glaserbsen wurden die Saftigkeit und Mehligkeit ausgeglichen bewertet (5.10 Pkt. und 5.13 Pkt.).

Es wurde ebenfalls ein Zusammenhang zwischen den Attributen Festigkeit, Zähigkeit und Dicke der Haut beobachtet: Die höchsten Bewertungen für die Festigkeit, Zähigkeit und Dicke der Haut erhielten die Frischen Erbsen (6.58 Pkt., 3.65 Pkt., 5.18 Pkt.).

Die ZS-Erbesen wurden als ähnlich fest (5.65 Pkt.) wie die Frischen Erbsen, jedoch als weniger zäh (2.40 Pkt.) und mit weniger dicker Haut (3.78 Pkt.) beurteilt. Die TK-Erbesen wurden als am wenigsten zäh (1.80 Pkt.) bewertet, hingegen war die Festigkeit (3.93 Pkt.) geringer im Vergleich zu den Frischen Erbsen und ZS-Erbesen, aber noch bedeutend höher im Vergleich zu den Dosen- und Glaserbsen. TK-Erbesen zeigten auch eine weniger dicke Haut (2.75 Pkt.) im Vergleich zu den anderen Erbsenprodukten. Am wenigsten ausgeprägt waren diese drei Eigenschaften in den Dosenerbsen (2.83 Pkt., 1.85 Pkt., 2.28 Pkt.). Die Glaserbsen wurden als ähnlich fest (3.80 Pkt.) im Vergleich zu den TK-Erbesen bewertet. Die Unterschiede in der Zähigkeit und Dicke der Haut waren zwischen den Glaserbsen und Frischen Erbsen am geringsten, da die Glaserbsen zäher (2.73 Pkt.) waren und eine dickere Haut (4.18 Pkt.) hatten, als die ZS-, TK- und Dosenerbsen (Abb. 4.39).

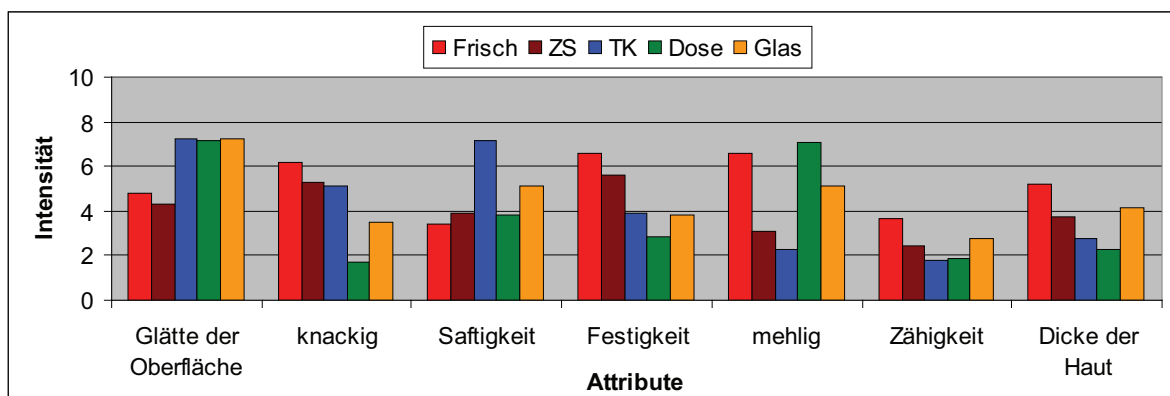


Abbildung 4.39: *Textur-Attribute der 5 untersuchten Erbsenprodukte im Vergleich*

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die TK-Erbesen eine höhere sensorische Qualität zeigten als die Frischen Erbsen, allerdings waren die Attribute allgemeiner Geruch und Erbsenflavour sowie Rundheit in TK-Erbesen ähnlich ausgeprägt wie in Frischen Erbsen. Die Intensität der grünen Farbe, des Erbsengeruchs und des süßen Geschmacks wurde bei den TK-Erbesen stärker wahrgenommen und waren auch saftiger als die Frischen Erbsen. Das heißt die positiven, die vom Konsument erwarteten, Eigenschaften waren intensiver ausgeprägt, hingegen die negativen Eigenschaften (erdiger Geruch, erdiger und bitterer Flavour) weniger stark vorhanden.

Die Dosen- und Glaserbsen stehen hinsichtlich der optischen Eigenschaften den Frischen Erbsen um nichts nach. In Bezug auf Geruch und Flavour/Geschmack können sie nur bei einigen Attributen (Intensität Geruch und Flavour allg., süßlicher Geruch, Glätte der Oberfläche) mit den Frischen Erbsen und den TK-Erbesen mithalten. Vor allem bei den Flavour/Geschmacks-Attributen lässt sich erkennen, dass die Dosenerbsen den TK-Erbesen um einiges ähnlicher waren, im Vergleich mit den Glaserbsen. Bei den Dosen- und Glaserbsen sind die Auswirkungen des Hitzeprozesses besonders bei den Textur-Attributen offensichtlich. Sie waren weniger knackig, weniger saftig und weicher als die TK-Erbesen (Abb. 4.40).

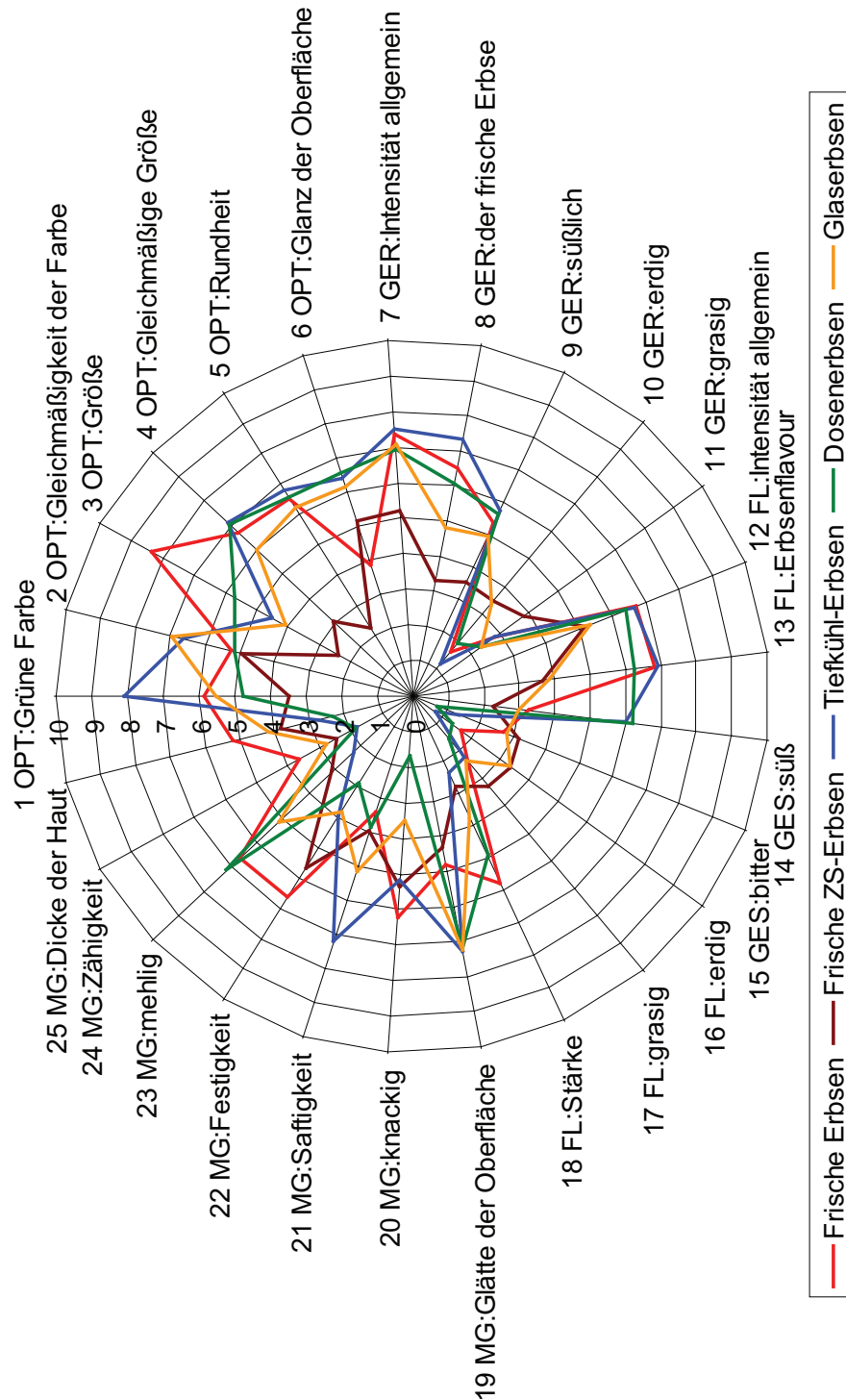


Abbildung 4.40: Produktprofil der 5 untersuchten Erbsenprodukte. OPT = Optik, GER = Geruch, FL = Flavour, GES = Geschmack, MG = Mundgefühl/Textur.



## 5. Schlussbetrachtung

Um einen Überblick zu bekommen wie sich die Art der Bearbeitung auf die chemische Zusammensetzung und die sensorischen Attribute der Erbsen auswirkt, wurden in der vorliegenden Arbeit verschiedene Erbsenprodukte einerseits hinsichtlich Vitamin C- und Carotinoidgehalt sowie totale antioxidative Kapazität untersucht, andererseits wurde eine sensorische Beurteilung durchgeführt.

Die Analyse der fünf verschiedenen Erbsenprodukte auf ihren Vitamin C-Gehalt zeigte deutliche Unterschiede. Der TAA Gehalt der Frischen Erbsen sowie der Frischen Zuckerschoten (ZS)-Erbsen war deutlich höher im Vergleich zu den Vitamin C-Gehalten in Tiefkühl (TK)-, Dosen- und Glaserbsen. Besonders ausgeprägt waren die Unterschiede der L-Ascorbinsäure, die in Frischen Erbsen um 70%, 83% und 93% höher und in ZS-Erbsen um 50%, 71% und 88% höher waren als in Dosen-, TK- und Glaserbsen. Die Betrachtung der prozentualen L-AA und DHAA-Anteile an der TAA zeigte einen deutlichen Unterschied zwischen den Frischen Erbsen und den industriell bearbeiteten Erbsenprodukten. Das L-AA/DHAA Verhältnis in Frischen Erbsen betrug 2:1 und in den ZS-Erbsen 1:1. Bei den industriell verarbeiteten Erbsen waren die Gehalte an DHAA größer als L-AA und resultierten in folgenden L-AA/DHAA Verhältnissen: TK 1:4, Dose 1:2 und Glas 1:11. Als Ursache für diese Tatsache können die unterschiedlichen Bedingungen und Belastungen während der Herstellung, die auf die Struktur und die chemische Zusammensetzung der Erbsen einwirken, angegeben werden. Die Gewebestruktur der TK-, Dosen- und Glaserbsen wird durch die Verarbeitungsschritte wie Blanchieren und Tiefkühlen bzw. Blanchieren und Hitzesterilisieren stark beansprucht. Dies zeigt sich in stärker ausgeprägter Festigkeit der Frischen Erbsen. Im Vergleich zu den industriell hergestellten Produkten, die direkt nach der Ernte weiter verarbeitet werden, sind Frische Erbsen nach der Ernte weiteren Stoffwechselvorgängen ausgesetzt. Der hohe L-AA und TAA Gehalt, der in den Frischen Erbsen detektiert wurde, deutet jedoch auf eine geringe Lagerdauer hin. Die vergleichsweise hohen DHAA-Anteile in den industriell hergestellten Erbsenprodukten sind auf die Oxidation von L-AA zu DHAA während der Verarbeitung und Lagerung zurückzuführen. Bei den TK-Erbsen haben neben dem Blanchierprozess die Lagerungstemperatur und -dauer einen großen Einfluss auf den Vitamin C Gehalt. Bei den Dosen- und Glaserbsen sind nach dem Blanchierprozess die angewandten hohen Sterilisierungstemperaturen für die niedrigeren Vitamin C-Gehalte verantwortlich, da sich der Vitamingehalt, vor allem während der Lagerung der Dosenerbsen, kaum mehr verändert. Bei den Glaserbsen kann sich der Vitamin C-Gehalt aufgrund des lichtdurchlässigen Materials bei falschen Lagerungsbedingungen noch verändern.

Eine wichtige zu beachtende Tatsache ist, dass Carotinoidgehalte in Lebensmitteln großen Schwankungen unterliegen, die sich aufgrund von Unterschieden in Art, Reifegrad, pH-Wert, Lebensmittelmatrix sowie durch Anbauform, Wachstumsbedingungen, Ernte, saisonale Schwankungen, Nachernte- und Lagerungsbedingungen, verwendeter Pflanzenteil und Qualität des Rohmaterials ergeben [Hart und Scott, 1995; Rodriguez-Amaya und de Sá Marcela, 2003; Anjum et al., 2008]. Der Gehalt und die Struktur von Carotinoiden in Nahrungsmitteln werden während der Nachernte-Lagerung, der Bearbeitung und auch während der anschließenden Aufbewahrung verändert. Insbesondere thermische Prozesse wie Blanchieren, Pasteurisieren, Kochen und Sterilisieren, können zu einer Abnahme des Carotinoidgehaltes führen. Der Gesamtcarotinoid-Gehalt war in Frischen Erbsen bedeutend höher als in den anderen untersuchten Erbsenprodukten. Der größte Unterschied des Gesamtcarotinoid-Gehalts von 98% wurde zwischen den Frischen Erbsen und den ZS-Erbsen festgestellt. Die Gesamtcarotinoid-Gehalte der TK-, Dosen- und Glaserbsen waren im Vergleich zu den Frischen Erbsen um 95% bis 97% niedriger. Die geringeren Gesamtcarotinoid-Gehalte der industriell bearbeiteten Erbsen sind auf die Verarbeitungsprozesse zurückzuführen, da es bei längerfristiger Einwirkung von Hitze und Licht in Gegenwart von Sauerstoff zu Verlusten kommt. Die sauerstoffhaltigen Carotinoide Lutein und Zeaxanthin (Xanthophylle) gelten als äußerst hitzeempfindlich. Dies zeigte auch der Vergleich der Lutein und Zeaxanthin Gehalte der Frischen Erbsen mit den anderen untersuchten Erbsenprodukten. Der Gehalt der beiden Xanthophylle war in Frischen Erbsen um 94%–97% (Lutein) und um bis zu 100% (Zeaxanthin) höher als in ZS-, TK-, Dosen- und Glaserbsen. In Frischen Erbsen war auch der Cryptoxanthingehalt am höchsten, jedoch war der in Dosenerbsen am zweithöchsten detektierte Gehalt nur um 19% kleiner. Im Vergleich zu den ZS-Erbsen und Glaserbsen war der Cryptoxanthingehalt in Frischen Erbsen um 71% bzw. 73% höher, der in TK-Erbsen festgestellte Gehalt um 67% kleiner. Die untersuchten Erbsenprodukte unterschieden sich auch im  $\alpha$ -Carotin sowie erheblich im  $\beta$ -Carotin Gehalt. In den Frischen Erbsen war der  $\alpha$ -Carotin Gehalt um 95% höher als in Frischen ZS-Erbsen. Hingegen war der um 27% kleinere  $\alpha$ -Carotin Gehalt in den TK-Erbsen den Frischen Erbsen am ähnlichsten. Der  $\alpha$ -Carotin Gehalt war in den Glaserbsen um 42% höher als in Dosenerbsen, allerdings im Vergleich zu den Frischen Erbsen waren die Glas- und Dosenerbsen jeweils um 57% bzw. 75% kleiner. Die Frischen Erbsen unterschieden sich auch deutlich im Gehalt an  $\beta$ -Carotin von den anderen untersuchten Erbsenprodukten. Der in Frischen Erbsen detektierte  $\beta$ -Carotin Gehalt war um 93% bis 96% höher im Vergleich zu den anderen vier Erbsenprodukten.

Die größten Differenzen zeigten die Vergleiche der einzelnen Carotinoidgehalte zwischen den Frischen Erbsen und Frischen ZS-Erbsen und lassen sich einerseits durch die verschiedenen Sorten und damit bedingte Unterschiede in Größe und Zusammensetzung erklären, andererseits durch den unterschiedlichen Reifegrad sowie Ernte- und Lagerungsbedingungen. ZS-Erbsen werden zwar wie die Frischen Erbsen unreif geerntet, jedoch verbleiben sie in ihren Schoten (Hülsen). ZS-Erbsen werden mit ihrer ganzen Hülse und den noch unentwickelten Samen zubereitet und verzehrt, da sie im Vergleich zu den Frischen Erbsen keine ungenießbare Pergamentschicht in der Hülse besitzen. Der Reifungsprozess wird im allgemeinen mit einer vermehrten Carotinoidsynthese beglei-

---

tet, bei der die Carotinoide merklich in der Menge zunehmen [Rodriguez-Amaya et al., 2008]. Gemeinsam mit  $\beta$ -Carotin ist Lutein eines der meist verbreiteten Carotinoide in häufig verzehrten Früchten und Gemüsesorten. In pflanzlichen Geweben kommt Lutein (ein Dihydroxy-Derivat von  $\alpha$ -Carotin) in beträchtlich größerer Menge vor als dessen Struktur-Isomer Zeaxanthin (ein Dihydroxy-Derivat von  $\beta$ -Carotin) [Rodriguez-Amaya et al., 2008; Granado et al., 2003]. Von den zwei in vorliegender Arbeit detektierten Xanthophyllen war Lutein in allen Erbsenprodukten vorherrschend, besonders in den Frischen Erbsen. Es ist bekannt, dass der Carotinoidabbau mit dem Zerstörungsgrad der zellulären Lebensmittelstruktur, mit der Oberflächenvergrößerung oder Porosität, der Länge und Stärke der Bearbeitungsbedingungen, Länge und Temperatur der Lagerung sowie durch luft- und lichtdurchlässiges Verpackungsmaterial zunimmt. Die Isomerisation der all-trans-Carotinoide, der natürlich vorliegenden Konfiguration, in cis-Isomere wird durch Hitze, Licht und durch den Kontakt mit Säuren gefördert und resultiert in einem Verlust der Provitamin A Aktivität und einer veränderten Bioverfügbarkeit sowie einem geänderten Stoffwechsel. Umwandlungen oder Verluste von Carotinoiden während der Bearbeitung und Lagerung von Lebensmitteln erfolgen aufgrund einer physikalischen Entfernung (z.B. durch Schälen), einer geometrischen Isomerisation und enzymatischer oder nicht-enzymatischer Oxidation [Rodriguez-Amaya et al., 2008]. Der Gehalt an Cryptoxanthin, das in der Natur weit verbreitet ist, jedoch in Pflanzen nur in sehr geringen Konzentrationen vorkommt, war in Frischen Erbsen um 1–4mal höher im Vergleich zu den thermisch behandelten Erbsenprodukten.  $\alpha$ -Carotin begleitet meist  $\beta$ -Carotin, jedoch in viel geringerer Konzentration. In den Frischen Erbsen betrug der Unterschied zwischen dem  $\alpha$ - und  $\beta$ -Carotin Gehalt fast 100%, ebenso in den ZS-Erbsen. In TK- und Dosenerbsen war der Gehalt von  $\beta$ -Carotin um 93% bzw. 92% höher als von  $\alpha$ -Carotin. In Glaserbsen war der  $\alpha$ -Carotin Gehalt um 89% geringer als der enthaltene  $\beta$ -Carotin Gehalt. Die sauerstofffreien Carotinoide  $\alpha$ - und  $\beta$ -Carotin gelten als weniger hitzelabil im Vergleich zu den Xanthophyllen. Da die Carotinoide in Pflanzen kristallin vorliegen und von einer unverdaulichen Cellulosematrix umschlossen sind, hängt die Freisetzung auch von der intrazellulären Lage und von der Hydrophilität der Carotinoide ab. Je hydrophiler sie sind und je weiter sie sich auf der Außenseite befinden, desto leichter können sie freigesetzt werden. Das am wenigsten hydrophile und am stärksten von einer Cellulosematrix umschlossene Carotinoid ist  $\beta$ -Carotin, wodurch es erst bei höheren Temperaturen oder stärkerer mechanischer Belastung freigesetzt wird. Hingegen erfolgt die Freisetzung von Lutein bereits bei milden Temperaturen oder einer geringen mechanischen Zerkleinerung, da es etwas hydrophiler als  $\beta$ -Carotin ist. Als Erklärung für die geringeren Carotin-Gehalte in Dosen- und Glaserbsen dienen die bereits genannten Verarbeitungsschritte Blanchieren und Hitzesterilisieren. Die geringeren  $\beta$ -Carotin Konzentrationen in Tiefkühlerbsen sind auf nicht-enzymatische Oxidationsvorgänge zurückzuführen, wobei die Geschwindigkeit der Abbauvorgänge von der Lagerungstemperatur, der Beschaffenheit des Lebensmittels, der Luftfeuchtigkeit, dem Sauerstoffgehalt und von der Verpackungsart abhängt [Watzl und Leitzmann, 1995; Siekmann, 2003; Rodriguez-Amaya et al., 2008; Bruhn et al., 2007b; Maiani et al., 2009; Kalt, 2005; Hart und Scott, 1995].

Die verschiedenen Erbsenprodukte wurden auf ihre totale antioxidative Kapazität

(TAC) untersucht, wobei zwischen der wasserlöslichen und der wasserunlöslichen Phase unterschieden wurde. Es wird vermutet, dass Vitamin C als wasserlösliches Vitamin einen Teil der antioxidativen Kapazität in der wasserlöslichen Phase ausmacht. Gleichzeitig wird angenommen, dass fettlösliche Substanzen wie Carotinoide oder  $\alpha$ -Tocopherol für die antioxidative Kapazität der wasserunlöslichen Phase von Bedeutung sind. Die Studie von Hunter und Fletcher [2002] zeigte, dass ungefähr die Hälfte der antioxidativen Kapazität der wasserlöslichen Phase in verschiedenen Gemüsesorten auf den Gehalt an Vitamin C zurückzuführen ist. Die totale antioxidative Kapazität von Gemüsearten unterliegt ebenfalls großen Schwankungen, da die Gehalte an Antioxidantien von Faktoren wie Anbaubedingungen, Sorte, Erntezeit, klimatischen Bedingungen, Nachernte- und Lagerungsbedingungen abhängen [Ou et al., 2002; Kalt, 2005].

Die in vorliegender Arbeit ermittelten Daten zeigten erhebliche Unterschiede zwischen der totalen antioxidativen Kapazität der wasserlöslichen und der wasserunlöslichen Phase, wobei die TAC-Werte der wasserlöslichen Phase jeweils um ein Vielfaches höher waren als die der wasserunlöslichen Phase. Der TAC-Wert der wasserlöslichen Phase war in den Frischen Erbsen am zweit niedrigsten im Vergleich zu den anderen Erbsenprodukten, obwohl die Frischen Erbsen den höchsten Vitamin C Gehalt aufwiesen. Ebenso zeigte sich beim TAC-Wert der wasserunlöslichen Phase, dass die Frischen Erbsen die geringste antioxidative Kapazität aufwiesen, wenngleich sie den höchsten Carotinoidgehalt im Vergleich zu den anderen Erbsen enthielten. Im Gegensatz dazu wurde der höchste wasserlösliche TAC-Wert in den Frischen ZS-Erbsen gemessen, deren Vitamin C Gehalt um einiges niedriger war als bei den Frischen Erbsen. Der wasserunlösliche TAC-Wert der ZS-Erbsen war nur gering höher im Vergleich zu den Frischen Erbsen, jedoch war der Gesamt-Carotinoidgehalt der ZS-Erbsen der geringste im Vergleich mit den anderen untersuchten Erbsenprodukten. Der zweithöchste wasserlösliche TAC-Wert wurde in den TK-Erbsen festgestellt, auch wenn diese den geringsten Vitamin C Gehalt aller Erbsenprodukte aufwiesen. Die antioxidative Kapazität der wasserunlöslichen Phase der TK-Erbsen wies den zweithöchsten Wert unter den untersuchten Produkten auf und entsprach auch dem zweithöchsten Gesamt-Carotinoidgehalt. In den Dosenerbsen wurde der dritthöchste Vitamin C Gehalt, nach den Frischen Erbsen und ZS-Erbsen, festgestellt, jedoch war die antioxidative Kapazität der wasserlöslichen Phase in dieser Produktgruppe am geringsten. Der Gesamtcarotinoid-Gehalt der Dosenerbsen war nur etwas höher im Vergleich zu den ZS-Erbsen, wodurch der wasserunlösliche TAC-Wert ebenfalls niedriger war. Bei den Glaserbsen lag der Vitamin C Gehalt und der wasserlösliche TAC-Wert jeweils zwischen den Werten der TK- und Dosenerbsen. In Glaserbsen wurde der 3. höchste wasserlösliche TAC-Wert ermittelt, jedoch nur der 4. höchste Vitamin C Gehalt. Auch wenn in Glaserbsen der 3. höchste Gesamtcarotinoid-Gehalt beobachtet wurde, so war der wasserunlösliche TAC-Wert in dieser Produktgruppe am höchsten. Für die untersuchten Erbsenprodukte ergab der Vergleich der wasserlöslichen Phase folgende Reihenfolge: ZS – TK – Glas – Frisch – Dose. Für die wasserunlösliche Phase resultierte folgende Reihung: Glas – TK – Dose – ZS – Frisch.

Im Vergleich zu den wasserlöslichen TAC-Werten waren die Unterschiede in den TAC-Werten der wasserunlöslichen Phase bei allen Produktgruppen recht gering. Erklärbar werden diese Ergebnisse dadurch, dass es durch industrielle Bearbeitungsprozesse

---

wie die Hitzesterilisation zu größeren Verlusten der Antioxidantien, die zur totalen antioxidativen Kapazität beitragen, besonders in der wasserlöslichen Phase kommen kann. Die angewandten hohen Temperaturen bewirken einen thermischen Abbau der Antioxidantien und eine Auslaugung der wasserlöslichen Antioxidantien wie z.B. Vitamin C in die Aufgussflüssigkeit [Hunter und Fletcher, 2002; Chang und Xu, 2008; Bruhn et al., 2007a; Murcia et al., 2009]. Die Dosen- und Glaserbsen wurden nicht nur ohne sondern auch mit der Aufgussflüssigkeit analysiert. Hierbei konnten bedeutende Differenzen zwischen den wasserlöslichen Phasen der Produkte „ohne Saft“ und „mit Saft“ beobachtet werden. Die TAC-Werte der wasserlöslichen Phasen der Dosen- und Glaserbsen „mit Saft“ waren im Vergleich zu den jeweiligen Produkten „ohne Saft“ fast doppelt so hoch. Die geringeren wasserlöslichen TAC-Werte der Dosen- und Glaserbsen „ohne Saft“ sind ein Indiz dafür, dass die industriellen, thermischen Bearbeitungsprozesse einen großen Einfluss auf die antioxidative Kapazität haben. Neben der Hitzesterilisation hat auch der Verfahrensschritt des Blanchierens, der vor der industriellen Weiterverarbeitung der Tiefkühl-, Dosen- und Glaserbsen angewendet wird, ebenso Auswirkungen auf die totale antioxidative Kapazität und kann diese vermindern. Hunter und Fletcher [2002] berichten über einen durchschnittlichen TAC-Verlust von 20% der wasserlöslichen Phase durch den Blanchiervorgang. Die totale antioxidative Kapazität bleibt jedoch während dem Tiefgefrieren konstant. Lagerung, Blanchieren und Tiefgefrieren zeigen hingegen keinerlei Auswirkungen auf die antioxidative Kapazität der wasserunlöslichen Phase. Dies lässt sich damit erklären, dass die fettlöslichen Substanzen wie  $\alpha$ -Tocopherol und Carotinoide stabiler sind. Der Gehalt an Carotinoiden kann während einer angemessenen Lagerung sogar erhöht werden [Akesson et al., 2004; Kalt, 2005]. Außerdem geben Konzentrationen einzelner Antioxidantien in einem Lebensmittel nicht zwangsläufig deren totale antioxidative Kapazität wieder, die ebenfalls von synergistischen Wechselwirkungen oder Redoxreaktionen zwischen den in Lebensmitteln vorhandenen verschiedenen Antioxidantien (Mineralstoffe, Ballaststoffe, Vitamine und sekundäre Pflanzenstoffe) abhängig sein kann [Murcia et al., 2009].

Bei der sensorischen Beurteilung der Frischen Erbsen, ZS-Erbsen, TK-, Dosen- und Glaserbsen mittels Quantitativer Deskriptiver Analyse (QDA) zeigten sich bereits in der Optik einige Unterschiede. Die grüne Farbe war bei den TK-Erbsen, dank dem Blanchierprozess, am intensivsten. Weiters scheint der Blanchierprozess auch Einfluss auf den Glanz der Oberfläche zu haben, da diese Eigenschaft bei den TK-, Dosen- und Glaserbsen ausgeglichen war. Die Frischen Erbsen, TK- und Dosenerbsen waren hingegen gleichmäßig groß und rund. Der Geruch nach frischer Erbse war bei den TK-Erbsen am stärksten ausgeprägt, gefolgt von den Frischen Erbsen. Der süßliche Geruch wurde recht einheitlich bei allen Erbsenprodukten mit Ausnahme der ZS-Erbsen wahrgenommen. Im Gegensatz dazu war der erdige und grasige Geruch bei den ZS-Erbsen am intensivsten. Der Erbsenflavour und der süße Geschmack war bei den Frischen Erbsen und TK-Erbsen am stärksten ausgeprägt. Die Frischen Erbsen, ZS-Erbsen und Glaserbsen wurden ähnlich bitter empfunden. Ein erdiger Flavour wurde bei den ZS-Erbsen und Glaserbsen am intensivsten wahrgenommen. Der Stärke-Flavour war am stärksten in den Frischen Erbsen ausgeprägt, gefolgt von den Dosenerbsen. Die hohen Bewertungen des Stärke-Flavours der Dosen- aber auch der Glaserbsen lassen sich auf die durch den

Sterilisationsprozess verursachten Veränderungen der Kohlenhydrate zurückführen. Die Textur-Beurteilungen zeigten große Unterschiede. Hierbei ist die hohe Bewertung der Saftigkeit der TK-Erbesen hervorzuheben. Die Frischen Erbsen waren im Vergleich zu den anderen Erbsenprodukten knackiger, fester, zäher und hatten eine dickere Haut. Die geringe Festigkeit und Knackigkeit der Dosen- und Glaserbsen sowie die hohe Bewertung der Mehligkeit lassen sich durch die Texturveränderungen während der Hitzesterilisation erklären. Die positiven Aussehensattribute (Grüne Farbe, gleichmäßige Größe, Rundheit), Geruchsattribute (Erbsengeruch, süßlicher Geruch), Flavour/Geschmacksattribute (Erbsenflavour, süßer Geschmack) sowie Texturattribute (Saftigkeit) waren in den TK-Erbesen am stärksten ausgeprägt, während die negativen, wie z.B. der erdige Geruch und Flavour, kaum wahrnehmbar waren.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war die Erhebung chemischer und sensorischer Daten in verschiedenen Erbsenprodukten, um eine Qualitätsbestimmung anhand der Ernährungsphysiologischen und Sensorischen Qualität durchzuführen. Die ernährungsphysiologische Qualität bzw. der Gesundheitswert wird durch den Gehalt an Nährstoffen bestimmt. Die Sensorische Qualität (Aussehen, Geruch, Flavour/Geschmack, Textur) entspricht dem Genusswert und ist jene Teilqualität, die mit den menschlichen Sinnen wahrgenommen werden kann. Die chemisch-analytischen Ergebnisse zeigten großteils die Verluste an wichtigen ernährungsphysiologischen Parametern, wie Vitamin C und Carotinoide, durch die industrielle Bearbeitung. Die Ergebnisse der sensorischen Untersuchungen zeigten die Auswirkungen der thermischen Verarbeitungsschritte im Vergleich zu den unbehandelten Frischen Produkten.

Die **Frishen Erbsen** wiesen eine hohe ernährungsphysiologische Qualität auf, da sie zum einen über die höchsten Gehalte an Vitamin C, besonders L-AA, und andererseits über die geringsten DHAA Gehalte verfügten. Ebenso zeigten sie im Vergleich zu den anderen untersuchten Erbsenprodukten die höchsten Carotinoidgehalte, wobei besonders die Gehalte von Lutein und Zeaxanthin sowie  $\beta$ -Carotin zu erwähnen sind. Obwohl die Vitamin C und Carotinoidgehalte am höchsten waren, war die totale antioxidative Kapazität, sowohl der wasserlöslichen als auch der wasserunlöslichen Phase, geringer im Vergleich zu den anderen Erbsenprodukten. Hinsichtlich der sensorischen Qualität hat sich gezeigt, dass die positiven Attribute, wie Grüne Farbe, Rundheit, Erbsenflavour und Knackigkeit jeweils sehr stark ausgeprägt waren und hoch bewertet wurden. Die **ZS-Erbesen** enthielten etwas weniger Vitamin C, jedoch ein ausgeglichenes L-AA:DHAA Verhältnis. Der Gehalt an Carotinoiden war von allen untersuchten Erbsenprodukten am geringsten. Allerdings wiesen die ZS-Erbesen die höchste totale antioxidative Kapazität der wasserlöslichen Phase auf. Bei der sensorischen Beurteilung wurden sie jedoch bei den meisten positiven Attributen geringer bewertet im Vergleich zu den Frischen Erbsen, häufig auch im Vergleich zu den anderen Erbsenprodukten. Die ernährungsphysiologische Qualität der **TK-Erbesen** war in Hinblick auf den geringsten TAA Gehalt im Vergleich zu den anderen Produkten und auch aufgrund des erhöhten DHAA Anteils stark beeinträchtigt. Der Carotinoidgehalt war deutlich niedriger im Vergleich zu den Frischen Erbsen. Die totale antioxidative Kapazität der wasserlöslichen Phase in TK-Erbesen war, trotz des geringen Vitamin C Gehaltes, aber beachtlich hoch. Die sensorische Qualität hingegen war herausragend, da die TK-Erbesen bei der Ausprägung

---

der positiven Attribute ähnlich hoch und manchmal auch höher als die Frischen Erbsen bewertet wurden. **Dosenerbsen** wiesen einen mittelmäßigen Gesundheitswert auf. Die TAA und L-AA Gehalte waren zwar höher im Vergleich zu den TK-Erbsen, jedoch wiesen sie einen geringeren Carotinoidgehalt auf. Die totale antioxidative Kapazität der wasserlöslichen Phase der Dosenerbsen „ohne Saft“ zeigte die niedrigsten Werte im Vergleich zu den anderen Produkten. Allerdings erreichten die Dosenerbsen „mit Saft“ fast doppelt so hohe TAC-Werte. Die sensorische Bewertung fiel für die Dosenerbsen gut aus, da sie meist ähnlich wie die TK-Erbsen bewertet wurden, außer bei den Texturattributen, bei denen sich die Auswirkungen der Hitzesterilisation zeigten. Die **Glaserbsen** wiesen ebenfalls eine mittelmäßige ernährungsphysiologische Qualität auf, da die TAA Gehalte niedriger als bei den Dosenerbsen waren und außerdem die niedrigsten L-AA und höchsten DHAA Anteile enthielten. Der Carotinoidgehalt war etwas geringer als in TK-Erbsen, dennoch erreichten die Glaserbsen die höchsten wasserunlöslichen TAC-Werte. Die totale antioxidative Kapazität der wasserlöslichen Phase in Glaserbsen „ohne Saft“ zeigte durchschnittliche TAC-Werte, hingegen wiesen die Glaserbsen „mit Saft“ die höchsten TAC-Werte im Vergleich zu den anderen Produkten auf. Die sensorische Qualität, gemessen anhand der Ausprägung der positiven Attribute, wurde im Vergleich zu den Dosenerbsen ähnlich, meist aber etwas geringer beurteilt.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass die Nährstoffgehalte der Frischen Erbsen höher sind im Vergleich zu den industriellen Erbsenprodukten. TK-Gemüse besitzt zwar aufgrund des schonenderen Verfahrens ein besseres Image als Sterilkonserven, trotzdem sind Dosen- und Glaserbsen aus ernährungsphysiologischer Sicht, besonders was den Vitamin C Gehalt betrifft, eine gute Alternative zu dem nicht immer verfügbaren Frischem Gemüse und sind auch in der Handhabung und Zubereitung einfacher und schneller. Zwar ist ein Vergleich von Tiefkühlware mit Sterilkonserven (Dose, Glas) aufgrund der unterschiedlichen Verarbeitung und Lagerung schwierig, jedoch zeigten die Ergebnisse, dass die wertvollen Inhaltsstoffe in beiden Verarbeitungsprozessen weitestgehend erhalten bleiben. So erwiesen sich die Dosen- und Glaserbsen als bessere Quelle für Vitamin C, auch wenn die DHAA-Anteile aufgrund der bearbeitungsbedingten Oxidationsvorgänge höher waren, im Vergleich zu den TK-Erbsen. Im Gegenzug zeigten die TK-Erbsen höhere Gesamtcarotinoid-Gehalte, besonders an Lutein, im Vergleich zu den Sterilkonserven. Auch die totale antioxidative Kapazität der TK-Erbsen, Dosen- und Glaserbsen war deutlich höher im Vergleich zu den Frischen Erbsen. Gleichzeitig sind diese drei Erbsenprodukte im Hinblick auf die TAC-Werte ebenbürtig, sofern bei den Sterilkonserven die prozessbedingte Aufgussflüssigkeit mitverwendet wird. Grundsätzlich kommt die sensorische Qualität von TK-Gemüse, aufgrund der schnellen Verarbeitung, jener von frischem Gemüse sehr nahe. Weiters kommt es in TK-Erbsen zu positiven Veränderungen aufgrund des Blanchierprozesses (Grüne Farbe, Glanz der Oberfläche, Saftigkeit), die für eine herausragende sensorische Qualität verantwortlich sind.





## 6. Zusammenfassung

Aufgabe der vorliegenden Arbeit war es, die Qualität von frischen grünen Erbsen sowie von industriell hergestellten Erbsenprodukten und die Auswirkungen der verschiedenen Haltbarmachungsmethoden auf die chemische Zusammensetzung und die sensorischen Eigenschaften zu evaluieren. Untersucht wurden Frische Erbsen, Frische Zuckerschoten (ZS)–Erbsen, Tiefkühl (TK)–, Dosen– und Glaserbsen auf ihren Gehalt an Vitamin C, Carotinoiden und ihre totale antioxidative Kapazität. Um sensorische Unterschiede festzustellen, wurden die Erbsenprodukte nach entsprechender Zubereitung mittels Quantitativer Deskriptiver Analyse (QDA) beurteilt.

Die chemischen Parameter L–Ascorbinsäure (L–AA), Gesamt–Vitamin C (TAA) sowie die Carotinoide Lutein, Zeaxanthin, Cryptoxanthin,  $\alpha$ –Carotin und  $\beta$ –Carotin wurden mittels RP–HPLC/UV bestimmt. Der Gehalt an Dehydro–L–Ascorbinsäure (DHAA) wurde über die Differenzmethode aus L–AA und TAA ermittelt. Die totale antioxidative Kapazität (TAC) wurde photometrisch gemessen.

Aus den Ergebnissen lässt sich erkennen, dass die Frischen Erbsen die höchsten Konzentrationen an Vitamin C und Carotinoiden unter den untersuchten Erbsenprodukten zeigten. Die industriellen Konservierungsmethoden Tiefgefrieren und Hitzesterilisieren wirken sich auf die licht–, hitze– und oxidationsempfindlichen Vitamine negativ aus, was man bei den TK–, Dosen– und Glaserbsen beobachten konnte. Die höchsten TAA–Gehalte wurden in den Frischen Erbsen und den Frischen ZS–Erbsen detektiert, gefolgt von den Dosen– und Glaserbsen sowie den TK–Erbsen mit dem geringsten TAA Gehalt. Die Unterschiede in den L–AA Gehalten der verschiedenen Erbsenprodukten waren besonders ausgeprägt, wobei der Gehalt in Frischen Erbsen im Vergleich zu den ZS–Erbsen um 40% und im Vergleich zu den Dosen–, TK– und Glaserbsen um 70% bis 93% höher war. Ein Indiz für die hohe Beanspruchung während der industriellen Prozesse stellen die hohen DHAA–Anteile in den industriell hergestellten Erbsenprodukten im Vergleich zu den Frischen Erbsen dar, die den geringsten DHAA–Anteil enthielten. Die geringeren L–AA und höheren DHAA–Anteile der TK–, Dosen– und Glaserbsen deuten auf eine bearbeitungsbedingte Oxidation von L–AA zu DHAA hin.

Der Gesamt–Carotinoidgehalt war in den Frischen Erbsen mit Abstand am größten, gefolgt von den TK–, Glas– und Dosenerbsen und in den ZS–Erbsen am geringsten. Die Unterschiede in den untersuchten Carotinoiden waren besonders bei Lutein, Zeaxanthin und  $\beta$ –Carotin im Vergleich der Frischen Erbsen mit den vier anderen Erbsenprodukten am größten. In allen untersuchten Erbsenprodukten war Lutein vorherrschend und somit stellen grüne Erbsen eine gute Quelle für dieses Carotinoid dar. Der Gehalt an

Zeaxanthin und  $\beta$ -Carotin war in den Frischen Erbsen im Vergleich zu den anderen untersuchten Erbsenprodukten um bis zu 100% höher. Die geringsten Unterschiede im Cryptoxanthin Gehalt zeigten sich zwischen den Frischen Erbsen und den Dosenerbsen. Der  $\alpha$ -Carotin Gehalt der Frischen Erbsen unterschied sich hingegen am geringsten von den TK-Erbsen.

Die totale antioxidative Kapazität zeigte erhebliche Unterschiede zwischen der totalen antioxidativen Kapazität der wasserlöslichen und der wasserunlöslichen Phase, wobei die TAC-Werte der wasserlöslichen Phase jeweils um ein Vielfaches höher waren als die der wasserunlöslichen Phase. Die höchsten wasserlöslichen TAC-Werte wurden in den Frischen ZS-Erbsen und den TK-Erbsen ermittelt, gefolgt von den Glaserbsen und den Frischen Erbsen und die geringsten Werte in den Dosenerbsen. Die Dosen- und Glaserbsen wurden sowohl „ohne Saft“ als auch „mit Saft“ analysiert, wobei die wasserlöslichen TAC-Werte der Erbsenprodukte „mit Saft“ im Vergleich zu den Produkten „ohne Saft“ fast doppelt so hoch waren. Dies deutet darauf hin, dass die sowohl bei der Hitzesterilisation angewandten hohen Temperaturen als auch eine Auslaugung der wasserlöslichen Antioxidantien wie z.B. Vitamin C in die Aufgussflüssigkeit, die Minderung der Antioxidantien bewirken.

Die sensorische Beurteilung mittels QDA zeigte bereits bei den Optischen Attributen einige Unterschiede zwischen den untersuchten Erbsenprodukten. Die charakteristische grüne Farbe von grünen Erbsen war bei den TK-Erbsen am intensivsten ausgeprägt. Die Frischen Erbsen wurden als größte, die ZS-Erbsen hingegen als kleinste bewertet. Der Geruch nach frischer Erbse wurde in den TK-Erbsen stärker wahrgenommen als in den Frischen Erbsen. Der süßliche Geruch war bei allen Erbsenprodukten außer den ZS-Erbsen stark ausgeprägt, hingegen wurde der erdige und grasige Geruch bei den ZS-Erbsen am höchsten beurteilt. Bei den Frischen Erbsen und den TK-Erbsen wurde der Erbsenflavour am intensivsten wahrgenommen. Die TK- und Dosenerbsen wurden als am meisten süß im Vergleich zu den anderen Erbsenprodukten empfunden. Die Eigenschaft eines erdigen Flavours war bei den ZS- und Glaserbsen am höchsten ausgeprägt, der grasige Flavour hingegen nur in den ZS-Erbsen. Der Stärke-Flavour war bei den Frischen Erbsen am intensivsten. Bei den Textur-Attributen wurden die Oberflächen der TK-, Dosen- und Glaserbsen als am meisten glatt empfunden, was auf den Blanchierprozess zurückzuführen ist. Am knackigsten wurden die Frischen Erbsen bewertet, gefolgt von den ZS- und den TK-Erbsen. Die Festigkeit war bei den Frischen Erbsen am stärksten ausgeprägt, gefolgt von den ZS-Erbsen. Die Saftigkeit der TK-Erbsen wurde mit Abstand am intensivsten wahrgenommen, im Gegensatz dazu wurde die Mehligkeit der Dosen- und Glaserbsen am höchsten bewertet. Die Unterschiede zwischen den Frischen Erbsen und den verarbeiteten Erbsenprodukten können auf die thermischen Verarbeitungsprozesse wie Blanchieren und Hitzesterilisieren zurückgeführt werden, was sich besonders bei den Textur-Attributen beobachten lässt.

## 7. Summary

The focus of the present work was to assess the quality of fresh green peas as well as of industrially processed peas and the impact from different mechanism of preservation on their chemical composition and sensory quality. In this study the content of vitamin C and carotenoids and also the total antioxidant capacity from fresh peas, snow peas, frozen peas, canned and jarred peas was investigated. After corresponding preparation of the peas they were evaluated with a Quantitative Descriptive Analysis (QDA) to establish any sensory differences.

The chemical parameters L-ascorbic acid (L-AA), total ascorbic acid (TAA) as well as the carotenoids lutein, zeaxanthin, cryptoxanthin,  $\alpha$ -carotene and  $\beta$ -carotene were determined by RP-HPLC/UV. The content of dehydroascorbic acid (DHAA) was calculated with the difference method. The total antioxidant capacity (TAC) was measured photometrically.

The results showed that fresh peas have the highest contents of vitamin C and carotenoids among the other analysed products of peas. The industrial methods of conservation like freezing and canning have negative effects on vitamins which are vulnerable to light, heat and oxidation, as can be seen from the frozen, canned and jarred peas. The highest content of TAA was detected in fresh peas and snow peas, followed by canned and jarred peas and the frozen peas, which had the lowest TAA content. The differences between the various products with regard to the L-AA content was considerable significant, whereas the content in fresh peas was about 40% higher compared to the snow peas and about 70% to 93% higher in comparison with canned, frozen and jarred peas. The high parts of DHAA in the processed peas indicate the heavy strain of these industrial processes in relation to the fresh peas, which had the slightest amount of DHAA. The lower L-AA and higher DHAA-parts of the frozen, canned and jarred peas suggest an oxidation from L-AA to DHAA because of the processing steps.

The total content of carotenoids was the greatest in fresh peas, followed by frozen, jarred and canned peas and finally by snow peas with the lowest content. The greatest differences between the investigated carotenoids, especially for lutein, zeaxanthin and  $\beta$ -carotene, showed the fresh peas as compared to the other four products of peas. In every analysed pea product was lutein prevalent, making green peas a good source of this carotenoid. The content of zeaxanthin and  $\beta$ -carotene was up to 100% higher in fresh peas compared to the other investigated products of peas. The minimal differences in the content of cryptoxanthin was displayed between the fresh peas and the canned peas. However, the extent of  $\alpha$ -carotene in fresh peas varied most slightly from the frozen

peas.

The findings of the total antioxidant capacity display significant differences between the water-soluble and water-insoluble fractions, whereas the TAC-values from the water-soluble phase were each time much higher than the ones from the water-insoluble phase. The highest water-soluble TAC-values were determined in fresh snow peas and frozen peas, followed by jarred and fresh peas and with the lowest values in canned peas. The canned and jarred peas were analysed as well „without filling medium“ as „with filling medium“, whereby the water-soluble TAC-values from the products „with filling medium“ were more than twice as high as compared to the products „without filling medium“. This indicates that the applied high temperatures during the sterilization as well as the leaching out of water-soluble antioxidants like vitamin C into the filling medium cause a loss of antioxidants.

The sensory evaluation (QDA) showed already some differences between the attributes of appearance among the analysed pea products. The characteristic green colour of green peas was most intense pronounced in the frozen peas. The fresh peas were scored as the biggest, whereas the fresh snow peas as the smallest. The pea odour in frozen peas was noticed stronger than in fresh peas. The sweet odour was well-marked in all pea products except in fresh snow peas, whereby the earthy and grassy odour was rated highest in snow peas. In fresh peas and frozen peas the pea flavour was perceived with the highest intensity. Frozen and canned peas were evaluated as the most sweet compared to the other products of peas. The quality of an earthy flavour was marked highest in snow peas and jarred peas, whereas the grassy flavour prevails in snow peas. The starch-flavour was most intense in fresh peas. The texture attributes showed differences too, because the surface of frozen, canned and jarred peas were estimated as mostly smooth, due to their blanching step. The crispness was valued highest in fresh peas, followed by snow peas and frozen peas. The firmness was the highest in fresh and snow peas. The juiciness was most intensively perceived in frozen peas by far, as opposed to this the mealiness was evaluated highest in canned and jarred peas. The differences between fresh peas and processed peas can be caused by the thermal processing methods such as blanching and sterilization, which can be observed especially by the texture attributes.

# Literaturverzeichnis

- AHMED, J. ; SHIVARE, U.: *Thermal Processing of Vegetables*. Kap. 13, S. 388–416. In: DA-WEN, S.: *Thermal Food Processing, New technologies and Quality issues*, CRC Press, Taylor and Francis Group, Florida, 2006
- AKESSON, B. ; NILSSON, J. ; STEGMARK, R.: Total antioxidant capacity in different pea (*Pisum sativum*) varieties after blanching and freezing. *Food Chemistry* 2004, Vol. 86, Nr. 4, S. 501–507
- ALONSO, R. ; GRANT, G. ; DEWEY, P. ; MARZO, F.: Nutritional Assessment in Vitro and in Vivo of Raw and Extruded Peas (*Pisum sativum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2000, Vol. 48, Nr. 6, S. 2286–2290
- ANJUM, F. ; KHAN, B. ; NOREEN, N. ; MASOOD, T. ; FAISAL, S.: Effect of Boiling and Storage on  $\beta$ -Carotene Content of Different Vegetables. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences* 2008, Vol. 6, Nr. 1, S. 63–67
- BAIK, B. ; HAN, H.: Antioxidant activity and phenolic content of lentils (*Lens culinaris*), chickpeas (*Cicer arietinum* L.), peas (*Pisum sativum* L.) and soybeans (*Glycine max*), and their quantitative changes during processing. *International Journal of Food Science and Technology* 2008, Vol. 43, Nr. 11, S. 1971–1978
- BALL, F. G.: *Vitamins in Foods*. CRC Press, Taylor and Francis Group, Florida, 2006
- BÖCKER, A. ; HERRMANN, R. ; GAST, M. ; SEIDEMANN, J.: *Qualität von Lebensmitteln. Grundkonzepte, Kriterien, Handlungsmöglichkeiten*. Peter Lang GmbH, Europäischer Verlag der Wissenschaften, Frankfurt am Main, 2004
- BECH, A. ; HANSEN, M. ; WIENBERG, L.: Application of House of Quality in Translation of Consumer Needs into Sensory Attributes measurable by Descriptive Sensory Analysis. *Food Quality and Preference* 1997, Vol. 8, Nr. 5/6, S. 329–348
- BECKER, S.: Vitamine im Kochtopf–„Mord“ in der Küche: Auswirkungen des falschen Umgangs mit Nahrungsmitteln auf deren Vitamingehalt. *Schweizer Zeitschrift für Ganzheitsmedizin* 1996, Vol. 8, S. 285–293
- BECKER, T.: *Qualitätsmanagement bei Fleisch: Wie kann es verbessert werden?* Kap. 7, S. 44–54. In: HÜHN, M.: *Beiträge zum ersten Workshop der Arbeitsgruppe Lebensmittelqualität und -sicherheit (QUASI)*. Heft 94, Selbstverlag der Agrar- und Ernäh-

- rungrwissenschaftlichen Fakultät der Christian–Albrechts–Universität zu Kiel, 2002, ISSN 0721–0809
- BELITZ, H. ; GROSCH, W. ; SCHIEBERLE, P.: *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*. 6. Auflage. Springer Verlag, Berlin, 2007
- BERGER, M. ; KÜCHLER, T. ; MAASZEN, A. ; BUSCH-STOCKFISCH, M. ; STEINHART, H.: Correlations of ingredients with sensory attributes in green beans and peas under different storage conditions. *Food Chemistry* 2007, Vol. 103, Nr. 3, S. 875–884
- BERGER, M.: *Veränderungen ausgewählter Qualitätsparameter in Erbsen, Bohnen und Karotten während verschiedener Frische- und Tiefkühlagerbedingungen*. Hamburg, Department für Chemie der Universität Hamburg, Dissertation, 2006
- BERGHOFER, E.: *Vorteile des Einsatzes der Tiefkühlung in der Gemeinschaftsverpflegung im Vergleich mit den Kühlverfahren*. Department für Lebensmitteltechnologie der Universität für Bodenkultur Wien, Literaturstudie, 2002
- BERNSTEIN, P. ; KHACHIK, F. ; CARVALHO, L. ; MUIR, G. ; ZHAO, D. ; KATZ, N.: Identification and Quantitation of Carotenoids and their Metabolites in the Tissues of the Human Eye. *Experimental Eye Research* 2001, Vol. 72, Nr. 3, S. 215–223
- BIESALSKI, H.:  $\beta$ -Carotin. Kap. 2, S. 20–31. In: BIESALSKI, H. ; SCHREZENMEIR, J. ; WEBER, P. ; WEISZ, H.: *Vitamine: Physiologie, Pathophysiologie, Therapie*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1997
- BIESALSKI, H. ; FÜRST, P. ; KASPER, H. ; KLUTHE, R. ; PÖLERT, W. ; PUCHSTEIN, C. ; STÄHELIN, H.: *Ernährungsmedizin*. 3. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2004
- BIESALSKI, H. ; GRIMM, P.: *Taschenatlas der Ernährung*. 4. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2007
- BISOVSKY, S. ; ZAHRL, J. ; MIKINOVIC, C. ; PFANNHAUSER, W.: *Gemüse kann ihr Leben verändern!* 2. Auflage. IGLO, Unilever Austria GmbH/Ice Cream & Frozen Food (Hrsg.), 2004
- BLOCK, G. ; PATTERSON, B. ; SUBAR, A.: Fruit, vegetables, and cancer prevention: a review of the epidemiological evidence. *Nutrition–Cancer* 1992, Vol. 18, Nr. 1, S. 1–29
- BMLFUW: *Österreichischer–Lebensmittelbericht: Agrarerzeugnisse – Lebensmittel und Getränke*. Bundesministerium für Land– und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2008
- BOGNÁR, A.: Vitaminverluste bei der Lagerung und Zubereitung von Lebensmitteln. *Ernährungs–Umschau* 1995, Vol. 19, Nr. 9, S. 411–416, Nr. 10, S. 478–483, Nr. 11, S. 551–554

- BONE, R. ; LANDRUM, J. ; FRIEDES, L. ; GOMEZ, C. ; KILBURN, M. ; MENENDEZ, E. ; VIDAL, I. ; WAND, W.: Distribution of lutein and zeaxanthin stereoisomeres in the human retina. *Experimental Eye Research* 1997, Vol. 64, Nr. 2, S. 211–218
- BREWER, M. ; BEGUM, S.: Physical, Chemical and Sensory Quality Of Microwave-Blanched Snow Peas. *Journal of Food Quality* 2001, Vol. 24, Nr. 6, S. 479–493
- BRITTON, G.: Structure and properties of carotenoids in relation to function. *The Federation of American Societies for Experimental Biology (FASEB) Journal* 1995, Vol. 9, Nr. 15, S. 1551–1558
- BRITTON, G. ; LIAAEN-JENSEN, S. ; PFANDER, H.: *Carotenoids*. Handbook. Birkhäuser Verlag, Basel–Boston–Berlin, 2004
- BROCKHAUS, F.: *Brockhaus der Ernährung*. F. A. Brockhaus GmbH Leipzig, Mannheim, 2008
- BRUHN, C. ; RICKMAN, J. ; BARRETT, D.: Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables. Part 1. Vitamins C and B and phenolic compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2007, Vol. 87, Nr. 6, S. 930–944
- BRUHN, C. ; RICKMAN, J. ; BARRETT, D.: Nutritional comparison of fresh, frozen, and canned fruits and vegetables. Part 2. Vitamin A and carotenoids, vitamin E, minerals and fiber. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2007, Vol. 87, Nr. 7, S. 1185–1196
- BRUHN, M.: *Lebensmittelqualität. Ein Überblick über unterschiedliche Qualitätsbegriffe*. In: Lebensmittelqualität und Qualitätssicherungssysteme. Wissenschaftliche Tagung des Dachverbandes Agrarforschung (DAF). DLG-Verlag (Hrsg.), Frankfurt am Main, 2003
- BÄSSLER, K. ; GOLLY, I. ; LOEW, D. ; PIETRZIK, K.: *Vitamin-Lexikon für Ärzte, Apotheker und Ernährungswissenschaftler*. Urban & Fischer Verlag, München, Jena, 2002
- CARR, A. ; FREI, B.: Toward a new recommended dietary allowance for vitamin C based on antioxidant and health effects in human. *American Journal of Clinical Nutrition* 1999, Vol. 69, Nr. 6, S. 1086–1107
- CASTENMILLER, J. ; WEST, C.: Quantification of the „SLAMENGHI“ factors for carotenoid bioavailability and bioconversion. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research* 1998, Vol. 68, Nr. 6, S. 371–377
- CASTENMILLER, J. ; WEST, C. ; LINSSEN, J. ; HOF, K. van het ; VORAGEN, A.: The food Matrix of Spinach is a limiting factor in determining the bioavailability of  $\beta$ -Carotene and to a lesser extent of Lutein in humans. *Journal of Nutrition* 1999, Vol. 129, Nr. 2, S. 349–355

- CHANG, S. ; XU, B.: Effect of soaking, boiling, and steaming on total phenolic content and antioxidant activities of cool season food legumes. *Food Chemistry* 2008, Vol. 110, Nr. 1, S. 1–13
- CHEN, X. ; TOUYZ, R. ; PARK, J. ; SCHIFFRIN, E.: Antioxidant Effects of Vitamins C and E are Associated With Altered Activation of Vascular NADPH Oxidase and Superoxide Dismutase in Stroke-Prone SHR. *Hypertension* 2001, Vol. 38, Nr. 3, S. 606–611
- CLAUSÈN, M. ; HUANG, S. ; EMEK, S. ; SJÖHOLM, I. ; AKERLUND, H.: Post harvest improvement of zeaxanthin content of vegetables. *Journal of Food Engineering* 2010, Vol. 98, Nr. 2, S. 192–197
- DACH: *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr*. Deutsche Gesellschaft für Ernährung and Österreichische Gesellschaft für Ernährung und Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung and Schweizerische Vereinigung für Ernährung. Umschau Braus GmbH, Verlagsgesellschaft, Frankfurt am Main, 2000
- DESHPANDE, S. ; ADSULE, R.: *Garden Pea*. Kap. 19, S. 433–456. In: SALUNKHE, D. ; KADAM, S.: *Handbook of vegetable science and technology: production, composition, storage and processing*, CRC Press, Taylor and Francis Group, Florida, 1998
- DEUTSCH, J.: Dehydroascorbic acid. *Journal of Chromatography A* 2000, Vol. 881, Nr. 1–2, S. 299–307
- DEWANTO, V. ; WU, X. ; ADOM, K. ; LIU, R.: Thermal Processing Enhances the Nutritional Value of Tomatoes by Increasing Total Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2002, Vol. 50, Nr. 10, S. 3010–3014
- DÜRRSCHMID, K. ; ZENZ, H.: Modellansätze zur Lebensmittelqualität. *Nutrition* 2000, Vol. 24, Nr. 3, S. 119–123
- EBERMANN, R. ; ELMADFA, I.: *Lehrbuch Lebensmittelchemie und Ernährung*. Springer-Verlag, Wien, 2008
- EDELENBOS, M. ; CHRISTENSEN, L. ; GREVSEN, K.: HPLC Determination of Chlorophyll and Carotenoid Pigments in Processed Green Pea Cultivars (*Pisum sativum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2001, Vol. 49, Nr. 10, S. 4768–4774
- EKVALL, J. ; STEGMARK, R. ; NYMAN, M.: Content of low molecular weight carbohydrates in vining peas (*Pisum sativum*) related to harvest time, size and brine grade. *Food Chemistry* 2006, Vol. 94, Nr. 4, S. 513–519
- EKVALL, J. ; STEGMARK, R. ; NYMAN, M.: Optimization of extraction methods for determination of the raffinose family oligosaccharides in leguminous vine peas (*Pisum sativum* L.) and effects of blanching. *Journal of Food Composition and Analysis* 2007, Vol. 20, Nr. 1, S. 13–18



- ELMADFA, I. ; AIGN, W. ; MUSKAT, E. ; FRITZSCHE, D.: *Die große GU Nährwert-Kalorien-Tabelle*. 2. Auflage. Gräfe und Unzer Verlag GmbH, München, 2008/2009
- ELMADFA, I. ; LEITZMANN, C.: *Ernährung des Menschen*. 4. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 2004
- ESCHER, F.: *Nährstoffgehalt von hitzesterilisiertem, tiefgefrorenem und frisch zubereitetem Gemüse*. Institut für Lebensmittel- und Ernährungswissenschaften, ETH Zentrum, Zürich; Life Science Zurich, 2002. – URL [www.lifesciencezurich.ch](http://www.lifesciencezurich.ch). – Zugriffsdatum: 17.05.2009
- EVANS, J.: Antioxidant supplements to prevent or slow down the progression of AMD: a systematic review and meta-analysis. *Eye* 2008, Vol. 22, Nr. 6, S. 751–760
- FAO: *Freezing of fruits and vegetables. An agribusiness alternative for rural and semi-rural areas*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Agricultural Services Bulletin 158, Rom, 2005
- FAVELL, D.: A comparison of the vitamin C content of fresh and frozen vegetables. *Food Chemistry* 1998, Vol. 62, Nr. 1, S. 59–64
- FOLCH, J. ; LEES, M. ; STANLEY, G.: A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry* 1957, Vol. 226, S. 497–509
- FRANKE, A. ; CUSTER, L. ; ARAKAKI, C. ; MURPHY, P.: Vitamin C and flavonoid levels of fruits and vegetables consumed in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis* 2004, Vol. 17, Nr. 1, S. 1–35
- FRÍGOLA, A. ; ESTEVE, M. ; ZULUETA, A.: ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products. *Food Chemistry* 2009, Vol. 114, Nr. 1, S. 310–316
- FRIEDRICH, W.: *Handbuch der Vitamine*. Urban und Schwarzenberg-Verlag, München, Wien, Baltimore, 1987
- FRISCH, G.: *Vorlesungsunterlagen zur Vorlesung „Gemeinschaftsverpflegung und alternative Ernährungsformen“*. Wien, Department für Ernährungswissenschaften der Universität Wien, 2007
- FURUSAWA, N.: Rapid high-performance liquid chromatographic identification/quantification of total vitamin C in fruit drinks. *Food Control* 2001, Vol. 12, Nr. 1, S. 27–29
- GAROTTE, R. ; SILVA, E. ; BERTONE, R. ; ROA, R.: Changes of ascorbic acid and surface color of green peas sterilized in cans subjected to end-over-end agitation. *Journal of Food Engineering* 2006, Vol. 73, Nr. 1, S. 29–37

- GEY, K. ; PUSKA, P. ; JORDAN, P. ; MOSER, U.: Inverse correlation between plasma vitamin E and mortality from ischemic heart disease in cross-cultural epidemiology. *American Journal of Clinical Nutrition* 1991, Vol. 53, S. 326–334
- GHISELLI, A. ; SERAFINI, M. ; NATELLA, F. ; SCACCINI, C.: Total antioxidant capacity as a tool to assess redox status: critical view and experimental data. *Free Radical Biology & Medicine* 2000, Vol. 29, Nr. 11, S. 1106–1114
- GÖKMEN, V. ; BAHCECI, K. ; SERPEN, A. ; ACAR, J.: Study of lipoxygenase and peroxidase as blanching indicator enzymes in peas: change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage. *LWT–Food Science and Technology* 2005, Vol. 38, Nr. 8, S. 903–908
- GLADYSZ, A.: *Veränderung der Bioverfügbarkeit von Carotinoiden bei der Verarbeitung von Lebensmitteln*. Wien, Department für Ernährungswissenschaften der Universität Wien, Diplomarbeit, 2007
- GRANADO, F. ; OLMEDILLA, B. ; BLANCO, I.: Nutritional and clinical relevance of lutein in human health. *British Journal of Nutrition* 2003, Vol. 90, Nr. 3, S. 487–502
- GUNAWAN, M. I. ; BARRINGER, S. A.: Green colour degradation of blanched broccoli (*Brassica oleracea*) due to acid and microbial growth. *Journal of Food Processing and Preservation* 2000, Vol. 24, Nr. 3, S. 253–263
- HALLIWELL, B. ; AESCHBACH, R. ; LÖLIGER, J. ; ARUOMA, O.: The Characterization of Antioxidants. *Food and Chemical Toxicology* 1995, Vol. 33, Nr. 7, S. 601–617
- HANCK, A. ; WEBER, P.: *Vitamin C*. Kap. 14, S. 132–137. In: BIESALSKI, H. ; SCHREZENMEIR, J. ; WEBER, P. ; WEISZ, H.: *Vitamine: Physiologie, Pathophysiologie, Therapie*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1997
- HANDELMAN, G.: The Evolving Role of Carotenoids in Human Biochemistry. *Nutrition* 2001, Vol. 17, Nr. 10, S. 818–822
- HART, D. ; SCOTT, K.: Development and evaluation of an HPLC method for the analysis of carotenoids in foods, and the measurement of the carotenoid content of vegetables and fruits commonly consumed in the UK. *Food Chemistry* 1995, Vol. 54, Nr. 1, S. 101–111
- HEINONEN, M. ; OLLILAINEN, V. ; LINKOLA, E. ; VARO, P. ; KOIVISTOINEN, P.: Carotenoids in Finnish Foods: Vegetables, Fruits, and Berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1989, Vol. 37, Nr. 3, S. 655–659
- HEISS, R. ; EICHNER, K.: *Haltbarmachen von Lebensmitteln. Chemische, physikalische und mikrobiologische Grundlagen der Verfahren*. 3. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, 1995

- HEIZMANN, E.: *Bioaktive Substanzen*. Kap. 4, S. 48–54. In: SCHMIDT, E. ; SCHMIDT, N.: *Leitfaden Mikronährstoffe. Orthomolekulare Prävention und Therapie*, Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag, München, 2004
- HERRMANN, K.: *Gemüse und Gemüseerzeugnisse*. Kap. 14, S. 183–206. In: TIMM, F. ; HERRMAN, K. ; KIERMEIER, F.: *Tiefgefrorene Lebensmittel*. Band 12, 2. Auflage, Blackwell Wissenschafts–Verlag Berlin Wien, 1996
- HOF, K. van het ; BROUWER, A. ; WEST, C. ; HADDEMAN, E. ; STEEGERS-THEUNISSEN, R. ; DUSSELDORP, M. ; WESTSTRATE, J. ; ESKES, T. ; HAUTVAST, J.: Bioavailability of Lutein from vegetables is 5 times higher than that of *beta*-Carotene. *American Journal of Clinical Nutrition* 1999, Vol. 70, Nr. 2, S. 261–268
- HOF, K. van het ; WEST, C. ; WESTSTRATE, J. ; HAUTVAST, J.: Dietary factors that affect the bioavailability of carotenoids. *The Journal of Nutrition* 2000, Vol. 130, Nr. 3, S. 503–506
- HOLDEN, J. ; ELDRIDGE, A. ; BEECHER, G. ; BUZZARD, I. ; BHAGWAT, S. ; DAVIS, C. ; DOUGLASS, L. ; GEBHARDT, S. ; HAYTOWITZ, D. ; SCHAKEL, S.: Carotenoid Content of U.S. Foods: An Update of the Database. *Journal of Food Composition and Analysis* 1999, Vol. 12, Nr. 3, S. 169–196
- HOORMANN, A.: *Lutein und Zeaxanthin. Prävention von Altersbedingter Makuladegeneration und Seniler Katarakt*. Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Fachbereich Ökotrophologie, Diplomarbeit, 2006
- HUNTER, K. ; FLETCHER, J.: The antioxidant activity and composition of fresh, frozen, jarred and canned vegetables. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 2002, Vol. 3, Nr. 4, S. 399–406
- IQBAL, A. ; KHALIL, I. ; ATEEQ, N. ; KHAN, M.: Nutritional quality of important food legumes. *Food Chemistry* 2006, Vol. 97, Nr. 2, S. 331–335
- ISMAIL, A. ; MARJAN, Z. ; FOONG, C.: Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food Chemistry* 2004, Vol. 87, Nr. 4, S. 581–586
- IZW: *In die Dose. Fertig. Los. Informationen über die Herstellung, Nutzen und Verwendung von Lebensmittelverpackungen aus Weißblech*. Informations–Zentrum Weißblech e.V., Düsseldorf, 2004
- JUNGHANS, A. ; SIES, H. ; STAHL, W.: Macular Pigments Lutein and Zeaxanthin as Blue Light Filters Studied in Liposomes. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 2001, Vol. 391, Nr. 2, S. 160–164
- KALT, W.: Effects of Production and Processing Factors on Major Fruit and Vegetable Antioxidants. *Journal of Food Science* 2005, Vol. 70, Nr. 1, S. 11–19

- KARADENIZ, F. ; KOCA, N. ; BURDURLU, H.: Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. *Food Chemistry* 2006, Vol. 100, Nr. 2, S. 609–615
- KONINGS, E. ; ROOMANS, H.: Evaluation and validation of an LC method for the analysis of carotenoids in vegetables and fruit. *Food Chemistry* 1997, Vol. 59, Nr. 4, S. 599–603
- KONYA, C. ; FERDINANDY, P.: Vitamin C: new role of the old vitamin in the cardiovascular system? *British Journal of Pharmacology* 2006, Vol. 147, Nr. 2, S. 125–127
- KUNIS, J.: *Kältebehandlung von Lebensmitteln*. Kap. 7, S. 309–342. In: TSCHESCHNER, H.-D.: *Grundzüge der Lebensmitteltechnik*. 3. Auflage, Behr's Verlag, Hamburg, 2004
- LATHROP, P. ; LEUNG, H.: Thermal degradation and leaching of vitamin C in green peas during processing. *Journal of Food Science* 1980, Vol. 45, Nr. 4, S. 995–998
- LAW, M. ; MORRIS, J.: By how much does fruit and vegetable consumption reduce the risk of ischaemic heart disease? *European Journal of Clinical Nutrition* 1998, Vol. 52, Nr. 8, S. 549–556
- LEE, C.: *Green Peas*. Kap. 5, S. 160–183. In: ESKIN, N.: *Quality and preservation of vegetables*, CRC Press, Taylor and Francis Group, Florida, 1989
- LEE, S. ; KADER, A.: Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 2000, Vol. 20, Nr. 3, S. 207–220
- LEVINE, M. ; RUMSEY, S. ; WANG, Y. ; PARK, J. ; KWON, O. ; XU, W. ; AMANO, N.: *Vitamin C*. In: ZIEGLER, E. ; FILER, L.: *Present knowledge in nutrition*. 7. Auflage, Ilsi Press, Washington DC, 1996
- LI, Y. ; SCHELLHORN, H.: New Developments and Novel Therapeutic Perspectives for Vitamin C. *The Journal of Nutrition* 2007, Vol. 137, Nr. 10, S. 2171–2184
- LIEBSTER, G.: *Warenkunde Obst und Gemüse*. Morion Verlagsproduktion, Bd. 2 Gemüse, Düsseldorf, 1990
- LINKE, L.: *Obst- und Gemüseverarbeitung*. Kap. 8.6, S. 435–455. In: TSCHESCHNER, H.-D.: *Grundzüge der Lebensmitteltechnik*. 3. Auflage, Behr's Verlag, Hamburg, 2004
- LINSBERGER, G. ; SCHÖNLECHNER, R. ; BERGHOFFER, E.: Herstellung von Keksen, Snackprodukten und Teigwaren aus Getreide und einheimischen Leguminosen. *Ernährung/Nutrition* 2006, Vol. 30, Nr. 12, S. 505–514
- MACDONALD, L. ; THUMSER, A. ; SHARP, P.: Decreased expression of the vitamin C transporter SVCT1 by ascorbic acid in a human intestinal epithelial cell line. *British Journal of Nutrition* 2002, Vol. 87, Nr. 2, S. 97–100

- MAIANI, G. ; CASTON, M. P. ; CATASTA, G. ; TOTI, E. ; CAMBRODON, I. ; BYSTED, A. ; GRANADO-LORENCIO, F. ; OLMEDILLA-ALONSO, B. ; KNUTHSEN, P. ; VALOTI, M. ; BÖHM, V. ; MAYER-MIEBACH, E. ; BEHSNILLIAN, D. ; SCHLEMMER, U.: Carotenoids: Actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. *Molecular Nutrition & Food Research* 2009, Vol. 53, Nr. 2, S. 1–25
- MAJCHRZAK, D.: *Vorlesungsunterlagen zur Vorlesung „Qualitätsbeurteilung und sensorische Analyse von Lebensmitteln“*. Wien, Department für Ernährungswissenschaften der Universität Wien, 2008/09
- MAKHLOUF, J. ; ZEE, J. ; TREMBLAY, N. ; BÉLANGER, A. ; MICHAUD, M.-H. ; GOSSELIN, A.: Some nutritional characteristics of beans, sweet corn and peas (raw, canned and frozen) produced in the province of Quebec. *Food Research International* 1995, Vol. 28, Nr. 3, S. 253–259
- MANDL, J. ; SZARKA, A. ; BÁNHEGYI, G.: Vitamin C: update on physiology and pharmacology. *British Journal of Pharmacology* 2009, Vol. 157, Nr. 7, S. 1097–1110
- MANGELS, A. ; BLOCK, G. ; FREY, C. ; PATTERSON, B. ; TAYLOR, P. ; NORKUS, E. ; LEVANDER, O.: The Bioavailability to Humans of Ascorbic Acid from Oranges, Orange Juice and Cooked Broccoli Is Similar to That of Synthetic Ascorbic Acid. *Journal of Nutrition* 1993a, Vol. 123, Nr. 6, S. 1054–1061
- MANGELS, A. ; HOLDEN, J. ; BEECHER, G. ; FORMAN, M. ; LANZA, E.: Carotenoid content of fruits and vegetables: An evaluation of analytic data. *Journal of the American Dietetic Association* 1993b, Vol. 93, Nr. 3, S. 284–296
- MARQUARD, R.: *Nutritive und antinutritive Inhaltsstoffe der Leguminosen*. Kap. 3. In: SCHUSTER, W. ; ALKÄMPER, J. ; MARQUARD, R. ; STÄHLIN, A. ; STÄHLIN, L.: *Leguminosen zur Körnernutzung*, Justus-Liebig-Universität, Gießen, 1998
- MASSHOLDER, F.: *Lebensmittel-Lexikon*. URL [www.lebensmittellexikon.de](http://www.lebensmittellexikon.de), 2009
- MATTISEK, R. ; SCHNEPEL, F. ; STEINER, G.: *Lebensmittelanalytik: Grundzüge, Methoden und Anwendungen*. Springer Verlag, Berlin, 2006
- MAX-PLANCK-INSTITUT: *Kulturpflanzenausstellung, Gartenerbse*. Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V., München; Online-Informationen zu verschiedenen Kulturpflanzen, 2009. – URL <http://www.mpg.de>. – Zugriffsdatum: 05.05.2009
- MILLER, H. ; RIGELHOF, F. ; MARQUART, L. ; PRAKASH, A. ; KANTER, M.: Antioxidant Content of Whole Grain Breakfast Cereals, Fruits and Vegetables. *Journal of the American College of Nutrition* 2000, Vol. 19, Nr. 3, S. 312–319

- MILLER, N. J. ; RICE-EVANS, C. ; DAVIES, M. J. ; GOPINATHAN, V. ; MILNER, A.: A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. *Clinical Science* 1993, Vol. 84, Nr. 4, S. 407–412
- MILLER, N. ; SAMPSON, J. ; CANDEIAS, L. ; BRAMLEY, P. ; RICE-EVANS, C.: Antioxidant activities of carotenes and xanthophylls. *Federation of European Biochemical Societies Letters* 1996, Vol. 384, Nr. 3, S. 240–242
- MORALES-BLANCAS, E. ; CHANDIA, V. ; CISNEROS-ZEVALLOS, L.: Thermal Inactivation Kinetics of Peroxidase and Lipoxxygenase from Broccoli, Green Asparagus and Carrots. *Journal of Food Science* 2002, Vol. 67, Nr. 1, S. 146–154
- MORRISON, S. ; SAVAGE, G. ; MORTON, J. ; RUSSELL, A.: Identification and stability of trypsin inhibitor isoforms in pea (*Pisum sativum* L.) cultivars grown in New Zealand. *Food Chemistry* 2007, Vol. 100, Nr. 1, S. 1–7
- MOZAFAR, A.: Nitrogen fertilizers and the amount of vitamins in plants: A review. *Journal of Plant Nutrition* 1993, Vol. 16, Nr. 12, S. 2479–2506
- MURCIA, M. ; JIMENEZ, A. ; MARTINEZ-TOMÈ, M.: Vegetables antioxidant losses during industrial processing and refrigerated storage. *Food Research International* 2009, Vol. 42, Nr. 8, S. 1046–1052
- NICOLI, M. C. ; ANESE, M. ; PARPINEL, M. T. ; FRANCESCHI, S. ; LERICI, C. R.: Loss and/or formation of antioxidants during food processing and storage. *Cancer Letters* 1997, Vol. 114, Nr. 1, S. 71–74
- OHLENSCHLÄGER, G.: *Freie Radikale, Oxidativer Stress und Antioxidantien: Krankheits-verursachende, präventive und reparative Prinzipien in lebenden Systemen*. 2. Auflage. Ralf Reglin Verlag, Köln, 1995
- OU, B. ; HUANG, D. ; HAMPSCH-WOODILL, M. ; FLANAGAN, J. ; DEEMER, E.: Analysis of Antioxidant Activities of Common Vegetables Employing Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) and Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) Assays: A Comparative Study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2002, Vol. 50, Nr. 11, S. 3122–3128
- PAIVA, S. ; RUSSELL, R.: *beta*-Carotene and other Carotenoids as Antioxidants. *Journal of the American College of Nutrition* 1999, Vol. 18, Nr. 5, S. 426–433
- PARKER, R.: Absorption, metabolism, and transport of carotenoids. *The Federation of American Societies for Experimental Biology (FASEB) Journal* 1996, Vol. 10, Nr. 5, S. 542–551
- PELLEGRINI, N. ; MIGLIO, C. ; CHIAVARO, E. ; VISCONTI, A. ; FOGLIANO, V.: Effects of Different Cooking Methods on Nutritional and Physicochemical Characteristics of

- Selected Vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2008, Vol. 56, Nr. 1, S. 139–147
- PELLEGRINI, N. ; SERAFINI, M. ; COLOMBI, B. ; RIO, D. D. ; SALVATORE, S. ; BIANCHI, M. ; BRIGHENTI, F.: Total Antioxidant Capacity of Plant Foods, Beverages and Oils Consumed in Italy Assessed by Three Different In Vitro Assays. *Journal of Nutrition* 2003, Vol. 133, Nr. 9, S. 2812–2819
- PERIAGO, M. ; ROS, G. ; MARTINEZ, M. ; RINCON, F. ; LOPEZ, G. ; ORTUNO, J. ; ROS, F.: In Vitro Estimation of Protein and Mineral Availability in Green Peas as Affected by Antinutritive Factors and Maturity. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 1996a, Vol. 29, Nr. 5–6, S. 481–488
- PERIAGO, M. ; ROS, G. ; MARTÍNEZ, C. ; RINCÓN, F. ; LOPEZ, G. ; ORTUNO, J. ; RODRIGO, J.: Relationships between physical-chemical composition of raw peas and sensory attributes of canned peas. *Journal of Food Quality* 1996b, Vol. 19, Nr. 2, S. 91–106
- PFANNHAUSER, W.: *Was bedeutet Lebensmittelqualität wirklich?* Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten (ALVA), Jahrestagung 2001 in Wolfpassing, 2001
- PRIOR, R. ; CAO, G. ; SOFIC, E.: Antioxidant Capacity of Tea and Common Vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1996, Vol. 44, Nr. 11, S. 3426–3431
- PRIOR, R. ; WU, X. ; BEECHER, G. ; HOLDEN, J. ; HAYTOWITZ, D. ; GEBHARDT, S.: Lipophilic and Hydrophilic Antioxidant Capacities of Common Foods in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2004, Vol. 52, Nr. 12, S. 4026–4037
- RAMASWAMY, H. ; CHEN, C.: *Canning Principles*. Kap. 4, S. 67–90. In: HUI, Y. ; GHAZALA, S. ; GRAHAM, D. ; MURRELL, K. ; NIP, W.: *Handbook of Vegetable Preservation and Processing*, CRC Press, Taylor and Francis Group, Florida, 2003
- RATNAYAKE, W. ; HOOVER, R. ; WARKENTIN, T.: Pea Starch: Composition, Structure and Properties — A review. *Starch/Stärke* 2002, Vol. 54, Nr. 6, S. 217–234
- RICE-EVANS, C. ; MILLER, N.: Total antioxidant status in plasma and body fluids. *Methods in Enzymology* 1994, Vol. 234, S. 279–293
- ROBINSON, D. ; ESKIN, N.: *Oxidative Enzymes in Foods*. Elsevier Verlag, London, New York, 1991
- ROCK, C. ; LOVALVO, J. ; EMENHISER, C. ; RUFFIN, M. ; FLATT, S. ; SCHWARTZ, S.: Bioavailability of  $\beta$ -Carotene is lower in raw than in processed carrots and spinach in women. *Journal of Nutrition* 1998, Vol. 128, Nr. 5, S. 913–916
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. ; KIMURA, M. ; GODOY, H. ; AMAYA-FARFAN, J.: Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. *Journal of Food Composition and Analysis* 2008, Vol. 21, Nr. 6, S. 445–463

- RODRIGUEZ-AMAYA, D. ; SÁ MARCELA, C. de: Carotenoid composition of cooked green vegetables from restaurants. *Food Chemistry* 2003, Vol. 83, Nr. 4, S. 595–600
- SANTOSA, S. ; JONES, P. J.: Oxidative stress in ocular disease: Does lutein play a protective role? *Canadian Medical Association Journal, Ophthalmology* 2005, Vol. 173, Nr. 8, S. 861–862
- SCHIEBER, A. ; CARLE, R.: Occurrence of carotenoid cis-isomers in food: Technological, analytical, and nutritional implications. *Trends in Food Science and Technology* 2005, Vol. 16, Nr. 9, S. 416–422
- SCHNITZLER, W.: *Vorlesungsunterlagen zur Vorlesung „Gemüseerzeugung“*. Institut für Pflanzenwissenschaften der Technischen Universität München, 2002
- SCHUSTER, W.: *Arten von Hülsenfrüchtlern zur Kornnutzung. Erbse (Pisum sativum L.)*. Kap. 6. In: SCHUSTER, W. ; ALKÄMPER, J. ; MARQUARD, R. ; STÄHLIN, A. ; STÄHLIN, L.: *Leguminosen zur Körnernutzung*, Justus-Liebig-Universität, Gießen, 1998
- SCHWARTZ, J.: The dual roles of nutrients as antioxidants and prooxidants: their effects on tumor cell growth. *Journal of Nutrition* 1996, Vol. 126, Nr. 4, S. 1221–1227
- SELL, M.: *Studien zur Allergenität der heimischen Leguminosen Gartenerbse (Pisum sativum L.) und Gartenbohne (Phaseolus vulgaris L.)*. Hamburg, Institut für Biochemie und Lebensmittelchemie der Universität Hamburg, Dissertation, 2004
- SIEKMANN, D.: *Eignung ausgewählter Substanzen als Biomarker des Obst- und Gemüseverzehr*. Hannover, Fachbereich Chemie der Universität Hannover, Dissertation, 2003
- SIES, H.: *Antioxidants in disease mechanism and therapy*. Academic Press, San Diego, 1997
- SOMMERBURG, O. ; KEUNEN, J. ; BIRD, A. ; KUIJK, F. van: Fruits and vegetables that are sources for lutein and zeaxanthin: the macular pigment in human eyes. *British Journal of Ophthalmology* 1998, Vol. 82, Nr. 8, S. 907–910
- SOUCI, S. ; FACHMANN, W. ; KRAUT, H.: *Die Zusammensetzung der Lebensmittel Nährwert Tabellen*. 7. Auflage. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Deutschland, 2008
- STAHL, W.: *Carotinoide*. Kap. 5, S. 41–48. In: BIESALSKI, H. ; KÖHRLE, J. ; SCHÜHMANN, K.: *Vitamine, Spurenelemente und Mineralstoffe. Prävention und Therapie mit Mikronährstoffen*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2002
- STAHL, W. ; SCHWARZ, W. ; LAAR, J. von ; SIES, H.: All-trans beta-Carotene Preferentially Accumulates in Human Chylomicrons and Very Low Density Lipoproteins Compared with the 9-cis-Geometrical Isomer. *Journal of Nutrition* 1995, Vol. 125, Nr. 8, S. 2128–2133



- STAHL, W. ; SIES, H.: Antioxidant activity of carotenoids. *Molecular Aspects of Medicine* 2003, Vol. 24, Nr. 6, S. 345–351
- STAHL, W. ; SIES, H.: Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. *Biochimica et Biophysica Acta* 2005, Vol. 1740, Nr. 2, S. 101–107
- STARK, R.: *Bestimmung von Vitamin C (L-Ascorbinsäure und Gesamtascorbinsäure) in Lebensmitteln und Humanplasma*. Wien, Department für Ernährungswissenschaften der Universität Wien, Diplomarbeit, 2005
- STATISTIK-AUSTRIA: *Gemüseernte 2006. Endgültige Ergebnisse*. Statistik–Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich, 2006, 2007. – URL <http://www.statistik.at>. – Zugriffsdatum: 06.04.2009
- STATISTIK-AUSTRIA: *Gemüseernte 2008. Endgültige Ergebnisse*. Statistik–Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich, 2008, 2009. – URL <http://www.statistik.at>. – Zugriffsdatum: 06.04.2009
- STEET, J. ; TONG, C.: Degradation Kinetics of Green Color and Chlorophylls in Peas by Colorimetry and HPLC. *Journal of Food Science* 1996, Vol. 61, Nr. 5, S. 924–928
- STÄHLIN, A. ; STÄHLIN, L. ; SCHUSTER, W.: *Biologie der Leguminosae (Hülsenfrüchtler)*. Kap. 1. In: SCHUSTER, W. ; ALKÄMPER, J. ; MARQUARD, R. ; STÄHLIN, A. ; STÄHLIN, L.: *Leguminosen zur Körnernutzung*, Justus–Liebig–Universität, Gießen, 1998
- STONE, H. ; SIDEL, J. ; OLIVER, S. ; WOOLSEY, A. ; SINGLETONE, R.: Sensory Evaluation by Quantitative Descriptive Analysis. *Food Technology* 1974, Vol. 28, Nr. 11, S. 24–34
- STUTE, R.: Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten von Erbsenstärken. Teil 2: Anwendungsmöglichkeiten. *Starch/Stärke* 1990, Vol. 42, Nr. 6, S. 207–212
- SUTER, P.: *Checkliste Ernährung*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2005
- TERNES, W. ; TÄUFEL, A. ; TUNGER, L. ; ZOBEL, M.: *Lexikon der Lebensmittel und der Lebensmittelchemie*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart, 2005
- TIMM, F.: *Grundlagen und Auswirkungen des Tiefgefrierens*. Kap. 2, S. 15–39. In: TIMM, F. ; HERRMAN, K. ; KIERMEIER, F.: *Tiefgefrorene Lebensmittel*. Band 12, 2. Auflage, Blackwell Wissenschafts–Verlag Berlin Wien, 1996a
- TIMM, F.: *Verpackung*. Kap. 4, S. 60–64. In: TIMM, F. ; HERRMAN, K. ; KIERMEIER, F.: *Tiefgefrorene Lebensmittel*. Band 12, 2. Auflage, Blackwell Wissenschafts–Verlag Berlin Wien, 1996b
- TSCHEUSCHNER, H.-D.: *Grundzüge der Lebensmitteltechnik*. 3. Auflage. Behr’s Verlag, Hamburg, 2004

- USDA: *National Nutrient Database for Standard Reference, Release 22*. United States Department of Agriculture, (ARS) Agricultural Research Service, Nutrient Data Laboratory, 2009. – URL <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>. – Zugriffsdatum: 20.03.2010
- VELIOGLU, Y. ; TURKMEN, N. ; SARI, F.: The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry* 2005, Vol. 93, Nr. 4, S. 713–718
- VISHNEVETSKY, M. ; OVADIS, M. ; VAINSTEIN, A.: Carotenoid sequestration in plants: the role of carotenoid-associated proteins. *Trends in Plant Science* 1999, Vol. 4, Nr. 6, S. 232–235
- WATZL, B. ; BUB, A.: Carotinoide. *Ernährungs-Umschau* 2001, Vol. 48, Nr. 2, S. 71–74
- WATZL, B. ; LEITZMANN, C.: *Bioaktive Substanzen in Lebensmitteln*. Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart, 1995
- WIENBERG, L. ; MARTENS, M.: Sensory quality criteria for cold versus warm green peas studied by multivariate data analysis. *Journal of Food Quality* 2000, Vol. 23, Nr. 6, S. 565–581
- WILSON, J.: The physiological role of dehydroascorbic acid. *Federation of European Biochemical Societies Letters* 2002, Vol. 527, Nr. 1, S. 5–9
- WILSON, J.: Regulation of Vitamin C Transport. *Annual Review of Nutrition* 2005, Vol. 25, S. 105–125
- WINKLER, J.: *Vergleich verschiedener Haltbarkeitsverfahren hinsichtlich der Qualität der Endprodukte*. Wien, Department der Lebensmittelwissenschaften und –technologie der Universität für Bodenkultur, Diplomarbeit, 2004
- WISEMAN, H. ; HALLIWELL, B.: Damage to DNA by reactive oxygen and nitrogen species: role in inflammatory disease and progression to cancer. *Biochemistry Journal* 1996, Vol. 313, S. 17–29

# Anhang

Tabelle 1: *Vitamin C Gehalt [mg/100 g] der untersuchten Erbsen*

	Produkt		TAA	LAA	DHAA	LAA [%]	DHAA [%]
<b>Frisch</b>	FrISChe Erbsen	A	137.41	89.04	48.37	65.33	34.67
<b>ZS</b>	Siam Fresh	B	112.87	56.77	57.41	49.74	50.26
	Wabu Fresh	C	98.94	51.49	47.46	52.07	47.93
<b>TK</b>	Spar Natur Pur	D	77.00	12.91	64.09	16.77	83.23
	Spar	E	74.43	15.07	59.36	20.26	79.74
	Denre	F	65.05	12.40	52.65	19.08	80.92
	Iglo	G	64.29	18.21	46.08	28.34	71.66
	Petter	H	68.80	12.75	56.05	18.54	81.46
	Quality first	I	66.79	14.11	52.69	21.12	78.88
	Gartengold	J	76.82	18.35	58.47	23.89	76.11
	Green Gold	K	86.83	17.81	69.02	20.52	79.48
	Frenzel Frost	L	81.96	17.33	64.63	21.17	78.83
	Gourmet Gold	M	86.66	16.05	70.61	18.53	81.47
<b>Dose</b>	Inzersdorfer	N	86.03	23.53	62.50	27.42	72.58
	Rege	O	93.73	23.70	70.03	25.36	74.64
	Bonduelle	P	77.31	23.45	53.86	30.36	69.64
	Edeka	Q	82.74	32.06	50.79	38.62	61.38
	Spar	R	61.64	27.50	35.16	42.99	57.01
	Green Gold	S	79.23	28.56	50.32	36.59	63.41
	Freshona	T	88.71	30.26	58.45	34.11	65.89
	d’aucy	U	94.09	25.76	68.22	27.51	72.49
<b>Glas</b>	Freshona	V	74.55	5.82	68.73	7.81	92.19
	De Rit	W	69.72	6.37	63.35	9.13	90.87
	Bio Nova	X	91.76	6.93	84.83	7.55	92.45
	Schweizer	Y	80.27	6.84	73.43	8.52	91.48
<b>Frisch</b> ... FrISChe Erbsen			<b>ZS</b> ... Zuckerschoten–Erbsen				
<b>TK</b> ... Tiefkühlerbsen			<b>Dose</b> ... Dosenerbsen			<b>Glas</b> ... Glaserbsen	

Tabelle 2: *Carotinoid Gehalt [ $\mu\text{g}/100\text{ g}$ ] der untersuchten Erbsen*

	Produkt		Lutein	Zea- xanthin	Crypto- xanthin	$\alpha$ - Carotin	$\beta$ - Carotin
<b>Frisch</b>	Frische Erbsen	A	20032.01	5616.07	44.65	14.26	2867.63
<b>ZS</b>	Siam Fresh	B	489.65	14.11	7.28	0.75	88.73
	Wabu Fresh	C	620.01	19.51	18.31	0.74	133.62
<b>TK</b>	Spar Natur Pur	D	714.13	28.02	33.74	2.98	49.24
	Spar	E	1510.61	47.84	24.49	10.55	160.66
	Denre	F	1173.69	64.86	18.11	6.73	160.43
	Iglo	G	1210.42	37.54	21.18	17.94	120.42
	Petter	H	946.91	24.17	12.43	5.57	114.31
	Quality first	I	1000.63	32.88	8.68	20.54	148.72
	Gartengold	J	1277.35	41.84	5.73	6.60	212.28
	Green Gold	K	1229.99	30.56	5.81	19.47	187.17
	Frenzel Frost	L	1081.81	30.97	5.80	5.16	180.46
	Gourmet Gold	M	1052.94	24.38	13.23	9.39	166.98
<b>Dose</b>	Inzersdorfer	N	607.07	46.72	71.27	1.72	58.91
	Rege	O	772.98	78.83	16.08	3.84	140.46
	Bonduelle	P	922.51	169.66	59.40	4.70	140.59
	Edeka	Q	512.36	92.52	24.92	4.11	79.06
	Spar	R	409.94	188.16	6.80	0.98	63.52
	Green Gold	S	540.10	48.52	12.02	4.84	180.96
	Freshona	T	504.58	81.56	52.78	3.35	137.83
	d'aucy	U	732.51	162.79	46.04	4.67	101.33
<b>Glas</b>	Freshona	V	1112.49	130.38	1.75	8.43	201.76
	De Rit	W	737.68	77.94	26.38	5.50	289.67
	Bio Nova	X	476.38	91.37	17.15	4.60	187.63
	Schweizer	Y	570.11	48.66	2.32	5.80	166.73
<b>Frisch</b> ... Frische Erbsen							
<b>ZS</b> ... Zuckerschoten-Erbsen							
<b>TK</b> ... Tiefkühlerbsen							
<b>Dose</b> ... Dosenerbsen							
<b>Glas</b> ... Glaserbsen							

Tabelle 3: *Totale antioxidative Kapazität [mMol Trolox-Ä/l] der untersuchten Erbsen*

Produkt			Wasserlösliche Phase		Wasserunlösliche Phase	
<b>Frisch</b>	FrISChe Erbsen	A	0.93		0.04	
<b>ZS</b>	Siam Fresh	B	1.88		0.14	
	Wabu Fresh	C	1.54		0.09	
<b>TK</b>	Spar Natur Pur	D	1.56		0.18	
	Spar	E	1.57		0.19	
	Denre	F	1.30		0.12	
	Iglo	G	1.42		0.45	
	Petter	H	1.90		0.22	
	Quality first	I	1.78		0.28	
	Gartengold	J	1.23		0.20	
	Green Gold	K	1.96		0.35	
	Frenzel Frost	L	1.53		0.11	
	Gourmet Gold	M	1.65		0.27	
			Wasserlösliche Phase		Wasserunlösliche Phase	
			Ohne Saft	Mit Saft	Ohne Saft	Mit Saft
<b>Dose</b>	Inzersdorfer	N	0.98	1.08	0.16	0.21
	Rege	O	0.89	1.06	0.21	0.25
	Bonduelle	P	0.56	2.17	0.06	0.18
	Edeka	Q	0.55	1.17	0.08	0.65
	Spar	R	0.30	0.54	0.20	0.44
	Green Gold	S	0.94	1.94	0.48	0.57
	Freshona	T	1.07	1.83	0.29	0.41
	d'aucy	U	0.77	1.87	0.32	0.45
<b>Glas</b>	Freshona	V	1.33	2.27	0.61	0.46
	De Rit	W	1.06	1.54	0.56	0.65
	Bio Nova	X	1.00	1.66	0.69	0.18
	Schweizer	Y	0.57	1.57	0.11	0.27
<b>Frisch</b> ... FrISChe Erbsen						
<b>ZS</b> ... Zuckerschoten-Erbsen						
<b>TK</b> ... Tiefkühlerbsen						
<b>Dose</b> ... Dosenerbsen						
<b>Glas</b> ... Glaserbsen						

Tabelle 4: *Trockensubstanz- und Wassergehalt der untersuchten Erbsen*

	Produkt		TS [g]/Einwaage	WG [g]/Einwaage	TS [%]	WG [%]
<b>Frisch</b>	FrISChe Erbsen	A	1.16	3.86	23.11	76.90
<b>ZS</b>	Siam Fresh	B	1.05	3.41	23.55	76.45
	Wabu Fresh	C	1.13	3.90	22.49	77.51
<b>TK</b>	Spar Natur Pur	D	1.22	4.03	23.24	76.76
	Spar	E	1.32	3.90	25.29	74.71
	Denre	F	1.31	3.98	24.71	75.29
	Iglo	G	1.03	4.04	20.35	79.65
	Petter	H	1.20	3.94	23.31	76.69
	Quality first	I	1.09	4.08	21.06	78.94
	Gartengold	J	1.25	3.79	24.77	75.23
	Green Gold	K	1.44	3.59	28.54	71.46
	Frenzel Frost	L	1.23	3.84	24.26	75.74
	Gourmet Gold	M	1.21	3.89	23.68	76.32
<b>Dose</b>	Inzersdorfer	N	1.09	3.99	21.43	78.57
	Rege	O	1.24	3.81	24.59	75.41
	Bonduelle	P	1.19	3.87	23.45	76.55
	Edeka	Q	1.12	4.16	21.21	78.79
	Spar	R	1.55	3.72	29.37	70.63
	Green Gold	S	1.18	3.89	23.18	76.82
	Freshona	T	1.24	4.06	23.37	76.63
	d'aucy	U	1.34	3.69	26.68	73.32
<b>Glas</b>	Freshona	V	1.29	3.96	24.65	75.35
	De Rit	W	1.20	3.97	23.19	76.81
	Bio Nova	X	1.19	3.94	23.25	76.75
	Schweizer	Y	1.05	4.06	20.49	79.51
<b>Frisch</b> ... FrISChe Erbsen						
<b>ZS</b> ... Zuckerschoten-Erbsen						
<b>TK</b> ... Tiefkühlerbsen						
<b>Dose</b> ... Dosenerbsen						
<b>Glas</b> ... Glaserbsen						

# Lebenslauf

---

## Persönliche Daten

---

Name	Sandra Kölbl
Geburtsdaten	10.01.1983, Wien

---

## Schule und Studium

---

1989–1993	Private Volksschule der Dominikanerinnen, 1130 Wien
1993–2001	Besuch des Gymnasiums der Dominikanerinnen
Juni 2001	Ablegung der Reifeprüfung
Seit Oktober 2001	Studium der Ernährungswissenschaften an der Universität Wien, Schwerpunkt: Lebensmitteltechnologie

---

## Praktika

---

Juni 2004	Ferialpraxis bei STRÖCK–BROT Ges.m.b.H, 1220 Wien
Mai 2006–März 2007	Praktikum bei Edith Kubiena, Diätologin, Neufeld/Leitha
September 2006	2 Wochen Praktikum im IMSB, Südstadt

---

## Studienbegleitende Tätigkeiten

---

Bis 2001	Leistungssport Eiskunstlauf
2001–2006	Leistungssport Leichtathletik
Seit 2003	Leistungssport Synchronized Skating
Seit 2006	gelegentliche Ernährungsberatung für die Firma M&P sowie Promotion–Tätigkeit, Wien
Seit 2006	geprüfte NÖLV–Kampfrichterin (Leichtathletik)
2007–2008	Ausbildung zum staatlich geprüften Lehrwart für Eiskunstlauf
Seit 2008	Kindereislaufkurse

---